



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TAISTO LALLI  
VIHERKATTORAKENTEIDEN TOIMINTA SUOMEN  
ILMASTOSSA  
Diplomityö

Tarkastaja: professori Juha Vinha  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Talouden ja rakentamisen  
tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
5. helmikuuta 2014

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**LALLI, TAISTO:** Viherkattorakenteiden toiminta Suomen ilmastossa

Diplomityö, 118 sivua

Kesäkuu 2016

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastaja: professori Juha Vinha

Avainsanat: Viherkatto, kattorakenne, yläpohja, vesikatto

Tässä diplomityössä käytetään termiä viherkatto kuvaamaan rakennusten kattoja, joiden päälle on istutettu kasvillisuutta. Työ on tehty kirjallisuustutkimuksena. Lähdeaineistona on käytetty pääasiassa suomenkielisiä ja englanninkielisiä viherkattojen suunnitteluohjeita sekä tutkimuksia viherkattojen toiminnasta.

Työssä käsitellään yleisiä asioita viherkatoista: historiaa, käyttötarkoitusta, hyötyjä, haasteita, kasvillisuustyppejä sekä viherkattojen käyttöä Suomessa. Suunnitteluun liittyviä asioita pohditaan työssä tarkemmin. Viherkattojen kuormitus, tuulen vaikutus, vedeneristys, viherkerrosten alapuolisten rakenteiden suojaus kasvien juuria vastaan, lämmöneristyskyky, vedenpoisto sekä paloturvallisuus ovat kaikki asioita, jotka liittyvät viherkaton suunnitteluun. Näille aiheille on omat otsikkonsa työssä. Työssä esitellään viherkattojen rakenteita ja yritetään löytää toimivia rakennetyyppejä, joiden toiminnassa viherkaton lisänä tulevat yläpohjan rakennekerrokset on huomioitu. Liitoksia ja yksityiskohtia käsitellään samalla.

Viherkattorakenteita voidaan toteuttaa hyvin monella tapaa ja niitä voidaan luokitella moniin eri luokkiin. Yhteistä kaikille viherkattotyypeille kuitenkin on, että niiden toiminta Suomen ilmastossa vaatii kattorakenteelta samat ominaisuudet kuin katolta ilmankin viherkerroksia. Monet viherkattojen avulla saavutettavista hyödyistä jäävät vähäisiksi, kun rakennuspaikkana on Suomi ja monet hyödyistä toteutuvat ilmankin katon viherkerroksia, kun alla oleva kattorakenne on suunniteltu ja toteutettu Suomen nykyisten määräysten ja rakennustavan mukaisesti. Loivan viherkaton suositeltava toteutustapa on käännetty rakenne, jossa vedeneristys on lämmöneristeiden alla. Jyrkissä katoissa viherosa on vesikatteen ulkopuolelle sijoitettava rakennekerros, joka pitää huomioida katon muiden rakenteiden, varsinkin vedeneristyksen, suunnittelussa ja toteutuksessa.

Työssä käsitellään viherkattojen toimintaa hyvin monelta kannalta. Vielä tarkempaa tietoa varten niiden toiminnasta ja katon viherosan vaikutuksista kattorakenteeseen tutkimuksessa pitäisi keskittyä johonkin tiettyyn alueeseen, jota tarkastellaan yksityiskohteisemmin.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

**LALLI, TAISTO:** Behaviour of green roof structures in Finnish climate

Master of Science Thesis, 118 pages

June 2016

Major: Structural Design

Examiner: Professor Juha Vinha

Keywords: Green roof, roof structure, roof

The term green roof is used in this thesis to describe all types of building roofs which have planted vegetation on top of them. This thesis is a literature study. References used in the study are mainly green roof design guidelines and studies about green roofs written in Finnish or English.

General things about green roofs are introduced first. History, purpose of use, benefits, challenges, greening types and usage of green roofs in Finland are concerned. Focus in this work is more on things affecting the design of the roof. Design loads, effect of wind, waterproofing, resistance of root penetration, thermal insulation, drainage of rain water and fire prevention have their own topics. This thesis introduces types of green structures and searches for well-performing roof assemblies which have the extra green roof layers. Joints and details are presented also.

Green roof structures can be built and classified in many different ways. One thing they all have in common is that to perform well in Finnish climate they all require the same features as a roof without greening. Many of the possible benefits of the green roofs aren't that significant when building site is in Finland and many of green roof benefits are achieved also with a roof without greening when it's build according to Finnish building codes and building practices. With low-slope green roofs inverted roof assembly where the roof membrane is under the thermal insulation layer is recommended. In steep-slope green roofs the green roof layers are on top of the rooftop and must be taken in consideration in the planning and execution of the other elements, especially waterproofing, of the roof structure.

Green roof behavior is considered in many different ways in this thesis. For more definitive information of their performance and effects on the roof a study should focus more on one specific area that would be examined more exact.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteenä diplomi-insinöörin tutkintoa varten Tampereen teknillisen yliopiston rakennesuunnittelun pääaineeseen. Olen ollut työsuhteessa Optiplan Oy:ssä koko työn tekemisen ajan ja työ on tehty osittain työajalla.

Työn aihepiirin sain työnantajaltani. Lopullisen aiheen työlle määritti professori Juha Vinha, joka toimi työn tarkastajana Tampereen teknillisen yliopiston puolesta. Työnantajan puolesta ohjauksesta vastasi Suvi Hokkanen.

Haluan kiittää Optiplan Oy:tä opinnäytetyöni tekemiseen annetusta ajasta ja Juha Vinhaa avusta työssä käsiteltävien aiheiden määrittämisessä. Kiitos kuuluu myös perheelleni tuesta opinnäytetyön tekemisen ja koko yliopisto-opiskeluni aikana.

Turussa 30.5.2016

Taisto Lalli

# SISÄLLYS

Termit ja niiden määritelmät .....	v
1 Johdanto.....	1
2 Yleistä viherkatoista.....	4
2.1 Viherkattojen historia .....	5
2.2 Viherkattojen käyttötarkoitus, hyödyt ja haasteet.....	7
2.2.1 Käyttötarkoitus ja hyödyt.....	7
2.2.2 Haasteet.....	9
2.3 Viherkatot Suomessa.....	10
2.4 Kattokasvillisuustyypit .....	12
3 Viherkattojen suunnittelussa huomioitavia asioita .....	18
3.1 Kuormat.....	18
3.1.1 Pysyvät kuormat .....	20
3.1.2 Hyötykuorma.....	22
3.1.3 Lumikuorma.....	23
3.2 Tuuli .....	29
3.2.1 Tuulen vaikutus kattopintaan .....	30
3.2.2 Tuulen huomioon ottaminen katolla.....	36
3.3 Kattokaltevuus .....	37
3.4 Vedeneristys .....	39
3.4.1 Vedeneristyksen suojaus.....	44
3.5 Lämmöneristys.....	46
3.5.1 Lämmöneristemateriaalit .....	47
3.5.2 Viherosan lämmöneristävyys .....	49
3.6 Vedenpoisto .....	52
3.6.1 Salaojituseros .....	57
3.6.2 Tutkimukset viherkaton sadevedenpoistosta .....	59
3.7 Kasvillisuuden kasvualusta.....	66
3.8 Paloturvallisuus.....	71
4 Viherkattorakennetyypit ja detaljit.....	75
4.1 Tuulettuva rakenne.....	76
4.2 Käännetty rakenne.....	82
4.3 Vähän tuulettuva rakenne ja umpirakenne .....	89
4.4 Viherkattoihin liittyviä detaljeja .....	97
4.4.1 Vedenpoisto .....	97
4.4.2 Liitokset pystyrakenteisiin .....	101
4.4.3 Leikkaukset katon räystäältä.....	104
5 Johtopäätökset ja yhteenveto .....	109
Lähteet.....	112

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Bitumikermi	Tukikerroksellinen vedeneristyskermi, jossa eristävänä aineena on bitumi tai modifioitu bitumi.
Diffuusio	Vesihöyryn diffuusio tarkoittaa kaasuseoksessa vakiokokonaispaineessa tapahtuvaa vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen vesihöyrypitoisuus- tai vesihöyryn osapaine-eroja.
Ekstensiivinen viherkatto	Kevyt ja vähän hoitoa vaativa viherkatto
Eristyskermi	Vedeneristyksessä käytettävä kermi
Hulevesi/kattovesi	Rakennuksen katolta pinnalta pois johdettava sade- tai sulamisvesi
Höyrynsulku	Ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallisen vesihöyryn diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa.
Ilmansulku	Ainekerros, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakennusosan läpi puolelta toiselle
Intensiivinen viherkatto	Raskaampi ja enemmän hoitoa vaativa kuin intensiivinen viherkatto
Jyrkkä katto	Katto, jonka kaltevuussuhde on suurempi kuin 1:10.
Kasvillisuusmatto	Valmiiksi istutettu kasvillisuuskerros, joka siirretään levyinä tai rullina kasvupaikalle.
Kasvillisuuskerros	Viherkaton päällä oleva kasvillisuus
Kasvualusta	Kasvillisuusalueen pintakerros, jossa kasvien juuret pääasiassa sijaitsevat ja josta ne ottavat tarvitsemansa ravinteet ja veden
Kattokasvillisuus	Katolle tai kansirakenteen päälle istutettava kasvillisuus
Kattopuutarha	Hoitoa vaativa ja oleskeluun soveltuva kasvillisuusalue katolla
Kaupunki-ilmasto	Kaupungin rakenteista syntynyt ilmasto, joka poikkeaa sitä ympäröivän alueen ilmastosta
Kermi	Vedeneristystarkoituksiin käytettävä vettä läpäisemätön tuote, joka yksinään tai liitettynä toisiin samanlaisiin tai vastaaviin tuotteisiin muodostaa yhtenäisen vedeneristyskerroksen
Kokonaishaihdunta	Maa-alueelta tapahtuva veden siirtyminen ilmakehään.
Korjattu	
lämmönläpäisykerroin	Rakenneosan lopullinen U-arvo, jota käytetään lämpöhäviöiden laskennassa
Kumibitumi	Massa, joka saadaan lisäämällä bitumiin SBS-elastomeereja niin paljon, että bitumin venyvyys ja taivutettavuus alhaisissa lämpötiloissa oleellisesti paranee

Kyllästyskosteuspitoisuus	Ilmoittaa sen vesihöyrypitoisuuden tai vesihöyryn osapaineen, joka ilmaan mahtuu tietyssä lämpötilassa
Kylmä rakenne	Lämmöneristämätön kattorakenne
Käännetty rakenne	Kattorakenne, jossa vedeneristys on lämmöneristuksen alla
Loiva katto	Katto, jonka kaltevuus on 1:10 tai pienempi
Lämmin tila	Tila, jonka mitoittava huonelämpötila on lämmityskaudella +17 °C tai suurempi
Lämmöneriste	Rakennusaine, jota käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella olennaisesti lämmöneristämiseen
Lämmöneristys	Lämmöneristekerroksesta rakennusosaan tehty eristekokonaisuus
Lämmönjohtavuus	Ilmoittaa lämpömäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun lämpötilaero rakenneosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen
Lämmönläpäisykerroin	Ilmoittaa lämpömäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun lämpötilaero rakenneosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen
Lämmönvastus	Ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai rakennusosan pinnoilla eri puolilla vallitsevien lämpötilojen eron ja ainekerroksen tai rakennusosan läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti siirtyvän lämpövirran suhteen
Lämpösaarekeilmiö	Kaupunkialueen korkeampi lämpötila sen ympäristöön verrattuna
Puolilämmin tila	Tila, joka ei ole tarkoitettu jatkuvaan oleskeluun pelkästään normaalia sisävaatetusta käyttäen
Sadanta	Sademäärä, tietyssä ajassa sateena pudonnut vesimäärä.
Salaojituseros	Vettä johtava rakenne, jota pitkin vesi voi siirtyä kuivatetavalta alueelta
Suhteellinen kosteus	Ilmoittaa kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä kyllästypitoisuuteen verrattuna tietyssä lämpötilassa
Suljettu rakenne	Kattorakenne, jossa lämmöneristys on höyrynsulun ja vedeneristuksen välissä
Suodatinkangas	Viherkaton rakennekerros, jolla estetään hienojen aineiden tunkeutuminen katon alempiin kerroksiin
Tasakatto	Vesikatto, jonka kaltevuus $\alpha$ on $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$
Tuulensuoja	Ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteen osaan ja takaisin
Tuulettuva rakenne	Kattorakennetyyppi, jossa yläpohjan eristeen ja vesikaton välissä on tuuletusväli

Umpirakenne	Kattorakennetyyppi, jossa yläpohjan eriste on höyrynsulku- ja vedeneristyskerrosten välissä ilman tuuletusväliä
Valunta	Valuma-alueelta virtauksien mukana poistuva vesimäärä
Valuma	Valunta alueen pinta-alaa kohden
Vedeneristys	Ainekerros, joka saumoineen kestää jatkuvaa kastumista ja jonka tehtävä on estää nestemäisen veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen painovoiman vaikutuksesta tai kapillaarivirtauksena, kun rakenteen pinta kastuu
Vesihöyrynläpäisevyys	Ilmoittaa vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyrypitoisuuksien ero tai vesihöyryn osapaineen ero ainekerroksen eri puolilla on yksikön suuruinen
Vesikatto	Katteen ja mahdollisen aluskatteen ja näitä välittömästi kannattavien rakenneosien muodostama rakenne
Viherkerrokset	Tässä työssä käytetty termi kuvaamaan viherkaton kasvillisuus- ja kasvualustakerroksia
Viherosa	Tässä työssä käytetty termi kuvaamaan viherkaton lisänä tulleita rakennekerroksia vesikatolla ja yläpohjassa



# 1 JOHDANTO

Tässä työssä käytetään termiä viherkatto kuvaamaan rakennusten kattoja, joiden päälle on istutettu kasvillisuutta. Kansainvälisesti viherkatoille on monia nimityksiä: green roof, eco-roof, living roof, planted roof ja vegetated roof (Snodgrass & McIntyre 2010).

Viherkattorakenteen päällimmäisenä oleva viherkerros voi olla hyvin kevyt ja matala kasvillisuuskerros tai jossain tapauksissa puutarhankaltainen oleskelutila, jossa rakennuksen katolla kasvaa jopa puita. Kuvissa 1.1, 1.2 ja 1.3 on esitetty esimerkkejä erilaisista viherkatoista.



**Kuva 1.1.** Oleskeluun tarkoitettu viherkatto asuinkerrostalon päällä (Vihreistä vihrein korttelin perspektiivikuva lounaasta. Arkkitehdin luonnoskuva. 2013)



*Kuva 1.2. Ohut viherkatto rakennuksen katolla (Viherkatot [WWW])*



*Kuva 1.3. Tampereen teknillisen yliopiston Kampusareenan viherkatto*

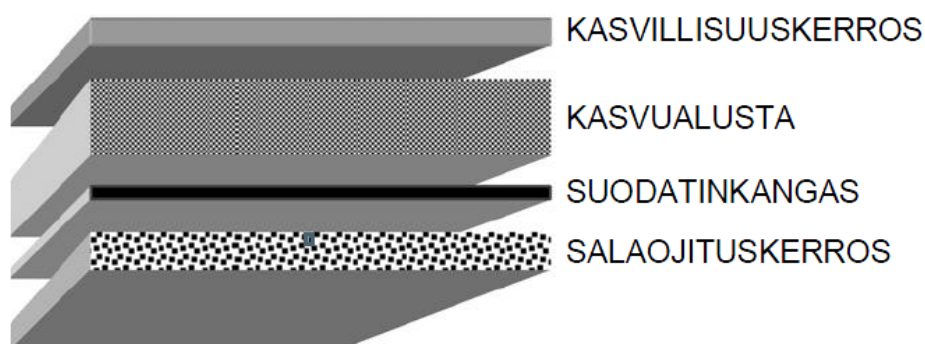
Tämä diplomityö tehdään kirjallisuustutkimuksena, jossa tietoa etsitään sekä kotimaisista että ulkomaisista lähteistä. Työn pyrkimyksenä on lisätä tietoa viherkatoista ja niiden toiminnasta. Työssä on tarkoitus käsitellä yleisiä asioita viherkatoista: historiaa, käyttötarkoitusta, hyötyjä, haasteita, kasvillisuustyyppejä sekä viherkattojen käyttöä Suomessa. Viherkattojen suunnitteluun ja kattojen toimintaan liittyviä asioita yritetään pohtia työssä tarkemmin. Rakenteen toimintaan kuuluvia asioita ovat esimerkiksi (Vinha 2011):

- lämpötekkinen toiminta
- kosteustekkinen toiminta
- äänitekkinen toiminta
- mekaaninen toiminta
- palotekkinen toiminta
- pitkäaikaiskestävyys
- terveysvaikutukset

Viherkattojen vaikutus katon kuormitukseen, vedeneristykseen, lämmöneristykseen, vedenpoistoon ja paloturvallisuuteen ovat kaikki asioita, jotka liittyvät viherkaton suunnitteluun. Näille aiheille on omat otsikkonsa työssä, joissa aiheita ja viherkattojen vaikutusta niihin pyritään selvittämään. Ulkoisten tekijöiden, kuten tuulen, lämpötilavaihteluiden ja sateen vaikutusta viherkattorakenteisiin pohditaan myös. Työn tavoitteena on esitellä viherkattojen rakenteita ja pyrkiä löytämään toimivia rakennetyyppejä. Näiden lisäksi katon yksityiskohtiin ja vaikeasti toteutettaviin paikkoihin on tarkoitus keskittyä.

## 2 YLEISTÄ VIHERRAKENTEISTA

Yksinkertaisimmillaan viherkattorakenne koostuu kasvillisuuskerroksesta, kasvualustasta ja näiden alapuolisesta kattorakenteesta. Viherkattorakenteelle tyypillisiä rakennekerroksia ovat suodatinkangas, salaojitus- ja vedenpidätyskerros sekä vedeneristeen juurisuoja (RT 85-10709 1999). Kuvassa 2.1 on esitetty viherkatolle viherosan tyypilliset rakennekerrokset:



**Kuva 2.1.** Viherkaton viherosan tyypilliset rakennekerrokset (*The GRO Green Roof Code 2011*)

Kuvan rakennekerrokset ylhäältä alaspäin ovat:

1. kasvillisuuskerros
2. kasvillisuuden kasvualusta
3. suodatinkangas
4. salaojitus- / vedenpidätyskerros.

Näiden kerrosten alla viherkatossa on vesikatoille tyypilliset rakennekerrokset: vedeneriste, lämmöneriste, katon kantava rakenne sekä ilman- ja höyrinsulku. Kerrosten järjestys vaihtelee rakennetyypin mukaan ja joissain rakennetyypeissä ei jokaista mainittua kerrosta tarvita.

Oikein suunniteltuna ja toteutettuna viherkatto tai kattopuutarha kestää hyvin säätä ja kuormituksia. Katon toiminnan kannalta vedeneristyskerros on erityisen tärkeä: se estää veden pääsyn katon läpi rakennukseen. Viherkatolla vedeneriste tulee suojata juurien aiheuttamilta vahingoilta. Salaojituskerroksia asennetaan kasvien kasvualustan alle sekä vedeneristyskerroksen päälle. Salaojituskerroksen tehtävänä on poistaa ylimääräinen vesi viherkatolta. Salaojituskerroksena voi toimia yksinkertainen sorakerros tai tarkoitukseen valmistettu salaojamatto. Joissain tapauksissa salaojituskerros voidaan suunnitella pidättämään vettä kasvien käyttöön sadejaksojen välillä. Suodatinkankaan tehtävä on suodattaa vesi lävitseen, mutta pidättää kasvualustan ainekset erillään salaoji-

tuskerroksesta. Kasvualusta tarjoaa nimensä mukaisesti alustan kasvien kasvuille. Sen paksuus ja ainekset riippuvat siinä kasvavista kasveista. Katon suunnittelussa tulee huomioida kasvualustan paino: vettyneenä kasvualusta voi olla hyvin painava. Kasvillisuuden valintaan vaikuttaa katon tyyppi ja ilmasto, jossa rakennus sijaitsee. Kasvit tulee valita niin, että ne kestävät katon rajut kasvuolosuhteet: suuret lämpötilavaihtelut, kasvualustan kosteuspitoisuuden vaihtelut, kovat tuulet ja altistuminen auringon paahteelle. Kastelu voi olla tarpeellista riippuen kasveista ja sääolosuhteista. (Tompuri 2013, Liu & Baskaran 2003)

Viherkatto voidaan asentaa monen erilaisen yläpohjarakenteen päälle, kunhan kattorakenne kestää viherkaton aiheuttaman lisäkuormituksen ja rakenne toimii hyvin. Viherkatot voidaan karkeasti jakaa kahteen päätyyppiin: ekstensiiviseen ja intensiiviseen. Ekstensiivinen viherkatto on kevyt. Siinä viherkerrosten paksuus muun kattorakenteen päällä on tyypillisesti alle 200 mm, jolloin sen aiheuttama lisäkuorma alapuoliselle rakenteelle on pieni. Intensiivisten kattojen aiheuttama kuormitus taas vaihtelee paljon: kasvukerroksen paksuus määräytyy kasvillisuuden mukaan ja katolle voidaan istuttaa jopa isoja puita. (Liu & Baskaran 2003)

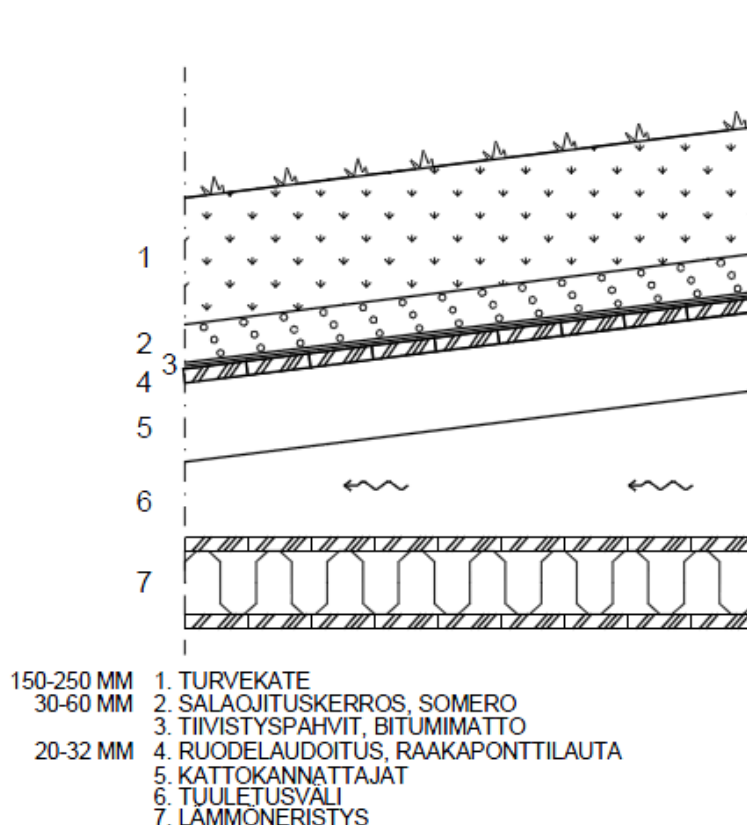
## 2.1 Viherkattojen historia

Viherkatot eivät ole uusi ilmiö. Niitä on pidetty tavallisina rakenneratkaisuin monissa maissa satoja, ellei jopa tuhansia vuosia. Tämä johtuu kasvien ja kasvualustan yhdistelmän eristyskyvystä. Kylmässä ilmastossa lämpö on pysynyt sisällä ja lämpimässä ilmastossa ulkopuolella (Peck et al. 1999).

Aikaisimmat maininnat viherkatoista ja kattopuutarhoista ovat Babylonin riippuvista puutarhoista. Myös Rooman valtakunnassa rakennettiin kattopuutarhoja väestön määrän kasvaessa kaupungeissa. (Peck et al. 1999) Näillä katoilla ei tietenkään ole mitään tekemistä nykyaikaisten viherkattojen kanssa, mutta ovat hyvä esimerkki kuinka vanhasta asiasta on kyse.

Skandinaviassa turvekatot ovat historiassa olleet tärkeitä rakennuksen vaipan osia sisäilman laadun kannalta. Niiden tarkoitus on ollut pitää lämpö rakennuksen sisällä ja kosteus ulkopuolella. Nämä katot olivat melko yleisiä monilla alueilla, joissa turvetta oli saatavilla. Turvekaton vedeneristys muodostui pääosin monista kerroksista tuohea, jotka peitettiin turpeella sen paikallaan pysymisen varmistamiseksi. Nykyaikaisempien kattomateriaalien yleistyessä 1900-luvulla perinteisistä viherkatoista alettiin luopua (Emilsson 2006). Suomessa turvekatot olivat yleisiä ulkorakennuksissa 1800-luvulle saakka. Turve toimi katoissa eristeenä, mutta sen painon takia tuohien päällä olevaa turvetta korvattiin kevyemmällä materiaaleilla (Rinne). Turvekattojen rakentaminen ei kuitenkaan loppunut kokonaan Suomessa. 1966 julkaistussa RT-kortissa esitetään turvekaton rakenne ja suunnitteluohjeet (RT 852.3 1966). Ohjekortissa esitellyn yläpohjarakenteen rakennekerrokset sisältä ulospäin ovat: lämmöneristys, tuuletusväli, kattokannattajat, ruodelaudoitus, tiivistyspahvit sekä bitumimatto, salaojituskerros ja turvekate. Kuvassa 2.2 on RT-kortin (RT 852.3 1966) mukaisen turvekateen rakennetyyppi.

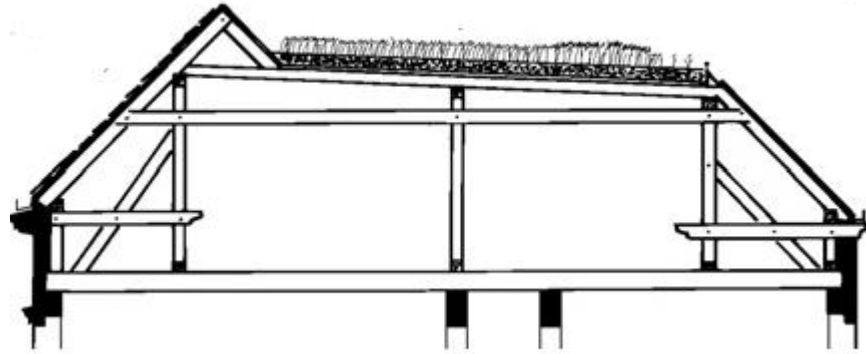




**Kuva 2.2.** Turvekaton ohjekortin (RT 852.3 1966) mukainen rakennetyyppi

Ohjeen mukaan katon kaltevuuden pitää olla 1:10 ja 1:3 välissä. Kaltevuuden arvot liittyvät varmasti vedenpoistoon ja katteen kiinnipysymiseen. Kaltevuuden vähimmäisvaatimuksella, 1:10, varmistetaan, että vesi valuu katolta pois tarpeeksi nopeasti. Kaltevuuden raja 1:3:een varmistaa, että kate ei lähde liukumaan alas katolta.

Saksa on nykyaikaisten viherkattojen syntypaikka. Jo 1800-luvulla Saksassa käytettiin kattojen vedeneristeenä puuhiilen tuotannosta saatua tervaa yhdistettynä paperikerrokseen. Tervapaperikerrokset suojattiin UV-säteilyltä ja lämmöltä peittämällä ne soralla ja hiekalla. Ajan myötä näille katoille alkoi muodostua niittyjä. Nämä katot olivat esteettisiä, palonkestäviä ja halpoja rakentaa. Niistä tulikin hyvin suosittuja kattotyyppejä. Vielä 1980-luvulla useita näistä katoista oli säilynyt ehjinä ja vedenpitävinä. Kuvassa 2.3 on tyypillinen Saksassa 1830-1930-luvuilla rakennettu tervapaperiviherkatto. (Magill 2011, Köhler & Poll 2010)



**Kuva 2.3.** Tyypillinen saksalainen 1830-1930-luvuilla rakennettu viherkatto (Köhler & Poll 2010)

1960-luvulla Saksassa aloitettu tutkimustyö mahdollisti viherkattojen laajemman käytön 1970-luvulta alkaen. 1980-luvulla viherkattoteknologia oli kehitetty kevyemmiksi ja halvemmiksi järjestelmiksi, joita voitiin käyttää parempaan sadeveden käsittelyyn taajaan asutuissa kaupungeissa. Tuolloin viherkattojen käyttö kasvoi Saksassa 15-20 % vuodessa. Vielä 2000-luvullakin viherkattojen kasvuvauhti on ollut siellä 13,5 miljoona lisäneliömetriä vuodessa. (Snodgrass & McIntyre 2010, Peck et al. 1999)

Yhdysvalloissa viherkatoilla on myös pitkä historia. Rockefeller Center rakennettiin vuonna 1931 New Yorkiin ja siinä oli ensimmäinen huomattava nykyaikainen viherkatto Yhdysvalloissa. Viherkattoja on hyödynnetty myös sodassa: Iso-Britannia käytti turvetta lentokonehallien peittämiseen ja naamiointiin toisessa maailmansodassa. (Magill 2011, Köhler & Poll 2010) Viherkattojen käyttö on levinnyt Euroopasta Pohjois-Amerikkaan, mutta vain pieni osa katoista sielläkin on viherkattoja. Viherkattojen käytön määrään vaikuttaa vielä asian uutuus, hinta sekä materiaalien ja kokemusten vähäisyys niiden toteuttamisessa. (Snodgrass & McIntyre 2010)

## 2.2 Viherkattojen käyttötarkoitus, hyödyt ja haasteet

### 2.2.1 Käyttötarkoitus ja hyödyt

RT 85-10709 (1999) -ohjekortin mukaan viherkatolla oleva kasvillisuus säätelee lähiympäristönsä lämpötilaa ja kosteutta, lisää hapen määrää, sitoo pölyä ja muita ilman epäpuhtauksia, säätelee katon pintaveden virtausta ja tulvahuippuja varastoimalla vettä sekä puhdistaa katolta viemäriverkostoon meneviä vesiä. Ohjekortin mukaan kattokasvillisuus lisää myös rakennetun ympäristön vihermassaa ja kasvien valikoimaa, lisää lintujen ja pieneliöiden määrää, tuo kasvillisuutta uusiin ympäristöihin ja lisää rakennetun ympäristön ulkotilojen viihtyvyyttä. (RT 85-10709 1999)

Viherkatoilla ja kattopuutarhoilla voidaan lisätä viihtyvyyttä luomalla vihreä oleskeluympäristö keskelle kaupunkia viemättä tilaa rakennuksilta. Katon muuten käyttämättömäksi jäävä pinta-ala voidaan ottaa hyötykäyttöön. Viherkattoja voidaan hyödyntää myös esimerkiksi kaupunkiviljelyalueena. Viherkatot voivat tarjota kasvu- ja elinpaikan kaupungin eliöille ja kasveille ja voivat näin parantaa luonnon monimuotoisuutta

kaupunkialueella. Viherkatto voi olla monen mielestä esteettinen ja hyödyttää näin muitakin kuin rakennuksen käyttäjiä. Viherkaton näyttävyys voi tuoda rakennuksen omistajalle myös taloudellista hyötyä nostamalla mahdollisesti rakennuksen arvoa. Viherkatolla rakennus saadaan erottumaan rakennuksista, joissa viherkattoa ei ole. Muita mahdollisesti saavutettavia hyötyjä voivat olla hulevesien hallinta, vedeneristeen käyttöiän kasvu, katon ääneneristävyyden lisäys, ilman laadun paraneminen, lämmitys- ja jäähdytykseen käytettävä energian säästö sekä lämpösaarekeilmiön lievennys. (Valtioneuvosto 20.12.2013, Snodgrass & McIntyre 2010, Peck et al. 1999, Banting et al. 31.10.2005, RT 85-11203 2016)

Viherkattojen hyötyjen yleistäminen on vaikeaa, koska monet viherkatolla saavutettavista todellisista hyödyistä riippuvat rakennuspaikasta ja viherkaton tyypistä. Monet mainituista hyödyistä vaatisivat laaja-alaista viherkattorakentamista, eikä yhden rakennuksen katolle sijoitetulla viherkatolla saavuteta välttämättä mainittavaa hyötyä. Viherkatolla käytettävä kasvillisuus, viherkaton tyyppi ja katon muu rakenne vaikuttavat viherkerroksen lisäämisestä saataviin hyötyihin.

Ilman laadun ollessa huono ilmansaasteille herkkillä ihmisillä voi ilmetä terveyshaittoja. Erilaisia ilmansaasteita ovat hengitettävät hiukkaset, pienhiukkaset, typpidioksidi, rikkidioksidi ja otsoni. Ilmansaasteet voivat aiheuttaa hengitystie- ja sydänoireita kaikille, mutta varsinkin astmaatikot ja pikkulapset saavat helposti oireita. (Saasteiden terveysvaikutukset) Kasvien istuttaminen voi auttaa ilman saasteiden hallinnassa. Kasvit suodattavat pienhiukkasia ja imevät itseensä myrkyllisiä kaasuja. Kaupungeissa tilaa on kuitenkin rajallisesti, mutta jos viherkattoja rakennetaan tarpeeksi laaja-alaisesti, ilman laadun parantuminen on mahdollista (Grant et al. 2003). Tutkimuksissa viherkattojen ilmaa puhdistavasta vaikutuksesta on arvioitu, että viherkatot poistavat ilmansaasteita vuodessa 69 - 85 kg yhtä viherkattohehtaaria kohti. Arvoon vaikuttaa saasteiden määrä ja kasvillisuuden kasvukauden pituus (Yang et al. 2008). Euroopassa monissa maissa hengitetään ilmaa, jonka ilmansaastepitoisuudet ylittävät EU:n ja Maailman terveysjärjestön asettamat rajat (Air quality in Europe - 2013 report 2013). Suomessa ja pohjoismaissa ilmansaasteiden määrä on yleisesti onneksi muuta Eurooppaa matalampi (Suomen ilmassa vain vähän saasteita 12.11.2013). Ilmatieteen laitoksen tutkimuksessa verrattiin Suomen ilman laadun seurannan tuloksia 25 muun Euroopan maan vastaaviin tuloksiin: yleisempien ilmansaasteiden pitoisuudet ovat tutkimuksen mukaan Suomessa pienimmät (Anttila et al. 2003). Viherkattojen rakentamisen perusteluna niiden ilman laatua parantava vaikutus ei siis Suomen oloissa ole merkittävä.

Yksi kaupunki-ilmastolle tyypillinen piirre on lämpösaarekeilmiö. Se tarkoittaa kaupunkialueen korkeampaa lämpötilaa ympäröivään rakentamattomaan alueeseen verrattuna (Drebs 2011). Rykelminä olevat rakennukset ja päällystetyt pinnat pidättävät ja hiljalleen vapauttavat auringon säteilyenergian aiheuttamaa lämpöä vielä auringon laskettuaikin (Snodgrass & McIntyre 2010). Yksi keino lämpösaarekeilmiön lieventämiseen on viherkattojen rakentaminen. Katon kasvit varjostavat kattopintaa ja päästävät vain osan auringonvalosta lämmittämään kattopintaa, joka varaisi lämpöä ja luovuttaisi sitä myöhemmin ympärilleen. Drebsin pro gradu -tutkielmassa (2011) Helsingin läm-



pösaareke ajallisena ja paikallisena ilmiönä tutkittiin kaupungin lämpösaarekeilmiötä Helsingissä. Lämpötiloja mitattiin viikoittain vuoden ajan aamupäivällä ja illalla. Mittauksissa heinäkuussa Helsingin ydinkeskusta erottui lämpimämpänä kuin sen ympäröivät alueet. Eroa lämpötilojen välillä on tutkimuksen lämpötilaerotuskartan mukaan noin 1 aste. Elokuussa keskusta-alue erottui heinäkuun tapaan lämpimämpänä kuin sitä ympäröivät alueet. Tutkimuksen lämpötilaerotuskartassa erottuu myös muita alakeskuksia, joissa lämpötila oli noin 2 °C korkeampi kuin ympäröivillä alueilla. Tutkimuksen keskeisinä tuloksina oli, että Helsingin ydinkeskustan on lämpimämpi kaikkina vuoden kuukausina ja myös isot rakennukset ja alakeskukset luovat selkeästi omia lämpösaarekkeita. Suuria lämpötilaerotuksia ei kuitenkaan ollut paljon. Helsingin kaupungin alueen kartta oli jaettu 38191 hilapisteeseen, joissa vain 46:ssa lämpötilaerotukset olivat suurempia kuin 1 °C. (Drebs 2011) Suomen oloissa lämpösaarekeilmiö ei ole siis niin vaikuttava ilmiö kuin monien ilmastoltaan lämpimämpien maiden suurkaupungeissa, jotta viherkattojen rakentamista Suomessa voitaisiin perustella suurena apuna tähän ilmiöön.

Viherkatot voivat parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja vähentää rakennuksen sisäilman viilennys- ja lämmitystarvetta. Kattokasvillisuus varjostaa kattoa ja kasvien kokonaishaihdunta kuluttaa lämpöä, joka voi vähentää ilmastoinnin tarvetta kesäisin. Kasvillisuuskerros ja kasvualusta toimivat eristeenä katolla, joka voi vaikuttaa sekä rakennuksen ilmastointitarpeeseen kesällä että jossain määrin rakennuksen lämmitystarpeeseen talvella (Liu & Baskaran 2003). Jäähdytyksen energiankulutus on Suomessa vielä vähäistä, mutta se on kuitenkin lisääntymässä: suuressa osassa uusista palvelurakennuksista on jäähdytys, omakotitaloissa sekä asuinkerros- ja rivitaloissa koneellinen jäähdytys tulee lisääntymään, koska asukkaiden vaatimustaso nousee ja rakentamismääräykset vaativat välttämään liiallisia ylilämpöjä (Vehviläinen et al. 2010).

Muut aiemmin mainitut viherkatoista mahdollisesti saavutettavat hyödyt liittyvät kattorakenteen toimintaan liittyviin asioihin ja niitä käsitellään työn luvussa 3.

### 2.2.2 Haasteet

Viherkattojen rakentamiseen liittyy paljon haasteita. Merkittävä tekijä on viherkaton hinta. Suomalaisessa Ilmatieteen laitoksen tutkimuksessa viherkattojen toimittajilta kysyttiin uuden 500 m<sup>2</sup> tai suuremman tasakaton rakennettavan viherkaton hintaa: viherkaton asentaminen tällaiselle katolle lisää katon hintaa noin 60 € / m<sup>2</sup>. Tämä lähes kaksinkertaistaa hinnan verrattuna tavalliseen bitumikermikattoon. (Nurmi et al. 2013)

Viherkatto lisää myös rakennuksen huoltokustannuksia. Viherkattotyyppistä riippuu kuinka paljon kattoa täytyy huoltaa. RT-ohjekortin mukaiset rakenteen huolto-ohjeet ovat (RT 85-10709 1999):

- kattokasvillisuuden rakennekerrosten vesitilanteen tarkistus 1-2 kertaa vuodessa
- kattorakenteen vedenpoiston toimivuuden ja kaivojen tarkistus tukkeutumisen varalta kaksi kertaa vuodessa
- liian lumen poisto tarvittaessa

- kastelujärjestelmän ja siihen liittyvien altaiden tyhjennys ennen talvea
- kasvillisuuden hoitotoimenpiteet, kuten kastelu ja lannoitus

Viherkaton kasvillisuustyyppistä riippuen kasvit voivat vaatia jatkuvaa, säännöllistä hoitoa, kuten kastelua, lannoitusta, leikkaamista ja kasvualustojen kuohkeuttamista. Lisäksi viherkatolla olevien mahdollisten puiden tuennat tarkistetaan tarvittaessa ja arat kasvit peitetään talveksi. Kaiken tyyppisiltä viherkatoilta täytyy säännöllisesti poistaa ei toivotut kasvit, kuten rikkaruohot ja koivuntaimet. Ne voivat häiritä katon muuta kasvillisuutta ja vahingoittaa katon vedeneristettä.

Yhtenä haasteena voisi pitää tiedon määrän vähyyttä viherkatoista. Tätä työtä aloittaessani suomenkielistä tietoa viherkatoista löytyi RT 85-10709 (1999) Kansi- ja katto- puutarhat sekä viherkatot -ohjekortista, jossa annetaan ohjeita suunnitteluun, kasvien valintaan ja rakentamiseen. Helmikuussa 2016 ohje korvattiin kolmen ohjekortin sarjalla viherkatoista ja katto- ja kansipuutarhoista (RT 85-11203 2016).

Rakennesuunnittelussa viherkaton viherosan rakennekerrokset pitää ottaa huomioon yläpohjan ja kantavien rakenteiden suunnittelussa. Viherkaton rakennetyyppi täytyy erikseen tutkia ja se vaatii rakennesuunnittelijalta perehtymistä aiheeseen. Vanhoja, hyväksi todettuja, rakennetyyppejä ei voi suoraan käyttää. Vastaavasti yläpohjan liitosdetaljeissa viherkaton vaikutus pitää huomioida ja liitosdetaljit suunnitella viherkatto-kerrokset huomioiden.

## 2.3 Viherkatot Suomessa

Viherkattojen rakentaminen on Suomessa vähäistä ja tekijöitä on vielä harvassa. Viherakennusarkkitehtuuri on kehittynyt Suomessa myöhään, eikä luontoa ole nähty rakentamisessa yhtä esteettisenä kohteena kuin esimerkiksi Isossa-Britanniassa tai Keski-Euroopassa (Tompuri 2013). Viherkattoja on tehty koeluontoisesti ja silloin, kun kiinteistölle haetaan korkeaa Leed-sertifiointia (Aatsalo 2015).

Suomessa ei ole kansallista lainsäädäntöä erityisesti viherkatoista eikä siis myöskään mitään velvoitteita rakentaa niitä. Lainsäädännössä on kohtia, joita voi käyttää perusteluna, miksi viherkattoja pitäisi rakentaa. Esimerkiksi maankäyttö- ja rakennuslaissa todetaan, että alueiden käytön suunnittelun tavoitteena on vuorovaikutteiseen suunnitteluun ja riittävään vaikutusten arviointiin perustuen edistää rakennetun ympäristön kauneutta ja kulttuuriarvojen vaalimista sekä luonnon monimuotoisuuden ja muiden luonnonarvojen säilymistä (MRL 5.2.1999/132). Viherkatot sopivat näihin tavoitteisiin. Valtioneuvoston periaatepäätöksessä Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävä käytön strategiasta vuosiksi 2012-2020 todetaan: ”Tiiviiseenkin kaupunkirakenteeseen voidaan tuoda lisää elämää esimerkiksi rakentamalla taloihin viherkattoja” (Valtioneuvosto 20.12.2013). Tämän perusteella viherkattoihin aletaan ehkä tulevaisuudessa kiinnittää enemmän huomioita lainsäädännössä.

Suomen pitkä talvi on ongelma viherkatoille, sillä talvella lämmöneristeen yläpuolinen kasvien kasvialusta voi jäätyä kauttaaltaan. Jää voi aiheuttaa vaurioita kasvien juuristoille ja keväällä sulamisvesien poistuminen hidastuu, kun kulkureitit ovat vielä jää-

tyneitä. Vedenpoiston tuleeikin toimia syksyllä nopeasti, jotta pakkasten alkaessa vettä on kattorakenteen sisällä mahdollisimman vähän. Toisaalta tehokas vedenpoisto aiheuttaa kuivuutta kesällä, joka taas voi vaurioittaa katon kasvillisuutta. (RIL 107-2012) Viherkattotuotteiden valmistajilla on tuotteita, jotka toimivat salaojakerroksina ja samalla varaavat vettä kasvien juurille. (Viherkattojen suunnitteluohjeet loiville katoille 10.11.2010)

Suomessa tehtyjä tutkimuksia viherkatoista on hyvin vähän ja suomenkielistä tietoa viherkattorakenteista valmistajien esitteitä lukuun ottamatta löytyy niukasti. Nyt Helsingin yliopistossa on käynnissä hanke, jonka tavoitteena on löytää paras mahdollinen viherkattoratkaisu Suomen olosuhteisiin koeviherkattojen seurantatutkimuksilla. Hankkeen tuloksena on tarkoitus julkaista raportteja ja tieteellisiä artikkeleita viherkattojen kasvillisuudesta ja kasvualustasta, eliöstöstä, hulevesien hallinnasta, elinkaariarvioinnista, sääntelystä ja ohjauskeinoista sekä käyttäjäkokemuksista. (Lehvävirta et al. 20.2.2014)

Helsingin yliopiston viherkattohankkeeseen liittyvässä Ilmatieteen laitoksen raportissa ”Viherkattojen kustannushyötyanalyysi Helsingin kaupunkiolosuhteissa” (Nurmi et al. 2013) arvioidaan viherkattojen kustannuksia ja hyötyjä Helsingin kaupunkiolosuhteissa. Tutkimuksessa keskityttiin kevyisiin ja mahdollisimman vähän hoitoa vaativiin viherkattoihin. Tutkimuksen johtopäätöksiä olivat:

1. Hyödyt yksityiselle rakentajalle eivät ole tarpeeksi suuret kattamaan viherkaton rakentamisen aiheuttamia suurempia kustannuksia.
2. Viherkattojen laajempi rakentaminen laskisi viherkattojen rakentamisen hintaa ja niistä saataisiin myös julkisia hyödykkeitä, kuten sadevesien hallinta ja ilmanlaadun parantuminen.
3. Yhdistämällä yksityiset ja julkiset hyödyt viherkattojen rakentaminen on kannattavaa yhteiskunnalle.
4. Sateen määrä, kohonnut lämpötila ja viherkaton sijainti kaupungin keskustan lähellä lisäävät saatuja hyötyjä.
5. Jos kannustimia tai asetuksia ei muuteta, viherkattojen määrän oletetaan pysyvän pienenä Suomessa.

Raportissa selvitettiin viherkattojen toimittajilta kustannusarvioita yli 500 m<sup>2</sup> loivalle katolle asennettavalle kevyelle viherkatolle. Hinnassa ei otettu huomioon muita mahdollisia lisämuutoksia vesikattoon vaan ainoastaan viherkaton rakennekerrosten ja niiden asennuksen tuomat kustannukset. Raportin mukaan viherkaton materiaalien ja asennuksen lisäkustannukset ovat keskimäärin 62 €/m<sup>2</sup>, jos käytetään valmistajien valmiita maksaruohomattoja. Raportin mukaan hieman halvempi vaihtoehto on käyttää katolla kasvillisuusalustaa, johon kasvit istutetaan siemenillä ja pistokkailla. Tällaisen viherkaton lisähinta raportin selvityksessä on noin 50 €/m<sup>2</sup>. (Nurmi et al. 2013) Näihin hintoihin pitää lisätä myös viherkaton suunnittelukustannukset ja mahdollisesti kasvavat katon ylläpitokustannukset.

## 2.4 Kattokasvillisuustyypit

Kattokasvillisuudella tarkoitetaan katon päälle istutettavaa kasvillisuutta. Katto on kasveille erittäin vaativa kasvupaikka kuivuuden, auringonpaahteen, tuulen ja pakkasen takia. Kasvupaikkana kattoa voi verrata avoimeen ja paahteiseen kallioon tai kivikkoon (RT 85-10709 1999). Viherkattojen vaativiin olosuhteisiin sopivia kasveja ovat monet kotimaiset luonnonkasvit ja lajikkeet. Ilmastollisen kestävyyslisäksi kasvien valinnassa pitää ottaa huomioon niistä aiheutuva hoitotyön määrä. Haitallisesti leviäviä tai haitallisia vieraslajeja ei tule käyttää viherkaton kattokasvillisuutena. Kasvillisuus leviää tuulen ja lintujen mukana ympäristöön. (RT 85-11204 2016)

Karkeasti viherkattokasvillisuustyypit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: ekstensiivisiin ja intensiivisiin. (Peck et al. 1999)

Ekstensiiviset viherkatot ovat kevyitä ja vähän hoitoa vaativia. Kasvillisuuden kasvualustana käytetään mineraalipohjaisia hiekan, soran, murskatun tiilen, kevytsoran, turpeen, orgaanisten aineiden ja mullan yhdistelmiä. Kerroksen paksuus vaihtelee 5 - 15 cm välissä. Ekstensiivinen viherkaton viherrakenne voi olla myös valmiina kasvatettu kasvillisuusmatto. Matalan kasvualustan ja karun kasvupaikan takia kasvien pitää olla matalia ja sitkeitä. Niiden pitää tulla toimeen vähäisellä ravinnemäärällä ja hoidolla. Talviolojen kesto on myös tärkeää. Ekstensiivisten viherkattojen kasvillisuudeksi valitaankin yleensä sellaisia kasveja, jotka kestävät katon karummat olosuhteet ilman kastelua. Näitä kasveja ovat esimerkiksi maksaruohot ja sammalet. (RT 85-10709 1999)

Intensiiviset viherkatot ovat raskaampia, kalliimpia rakentaa ja enemmän hoitoa vaativia kuin ekstensiiviset viherkatot. Intensiivisten viherkattojen kasvillisuus vaatii paksumman kasvualustan. Multapitoisen kasvualustan paksuus voi olla 20 - 60 cm välissä ja joissain tapauksissa jopa paksumpi. Kasvillisuutena voidaan käyttää pensaita ja pieniä puita. Viherkattotyyppejä vertaillaan taulukossa 2.1. (Peck et al. 1999)

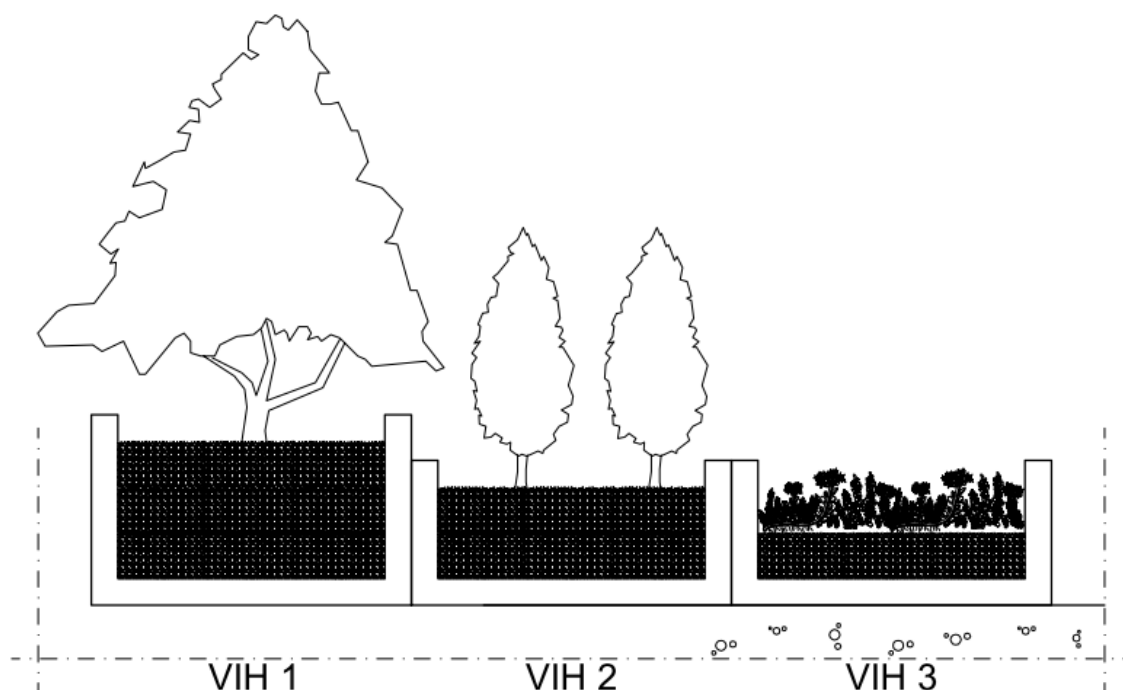
**Taulukko 2.1.** *Ekstensiivisen ja intensiivisen viherkaton vertailua (Peck et al. 1999)*

	<b><i>Ekstensiivinen viherkatto</i></b>	<b><i>Intensiivinen viherkatto</i></b>
Kuvaus	Ohut, vähän hoitoa vaativa, karut olosuhteet kasvillisuudelle	Paksu, hoitoa / kastelua vaativa, kasveilla paremmat kasvuolosuhteet
Hyvät puolet	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kevyt rakenne</li> <li>- vähän hoitoa vaativa</li> <li>- luonnonmukaisen näköinen</li> <li>- halvempi rakentaa</li> <li>- vaatii vähemmän alapuolisilta rakenteilta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- enemmän valinnanvaraa kasvillisuudessa</li> <li>- enemmän käyttömahdollisuuksia</li> <li>- oleskelulle sopiva</li> </ul>
Huonot puolet	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vähemmän valinnanvaraa kasvillisuudessa</li> <li>- usein ei oleskelumahdollisuuksia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vaatii hoitoa</li> <li>- kalliimpi rakentaa</li> <li>- vaatii monimutkaisemmat rakenteet</li> </ul>

RT 85-10709 (1999) -ohjekortissa kattokasvillisuustyypit jaetaan kolmeen eri luokkaan, jotka perustuvat katon käyttötarkoitukseen ja rakenteen sallimiin kuormiin. Nämä luokat ovat: rehevä kattopuutarha VIH1, karu kattopuutarha VIH2 ja viherkatto VIH3. Luokat ovat vanhentuneesta RT-kotista. Vanhemman RT-kortin viherkattokasvillisuustyypit esitetään, koska ne vastaavat paremmin ulkomaisissa lähteissä käytettyjä kattokasvillisuustyypien luokituksia. RT-kortin luokat esitetään taulukossa 2.2 ja kuvassa 2.4:

**Taulukko 2.2.** *Viherkattokasvillisuustyypit (RT 85-10709 1999)*

<b><i>Kasvillisuustyyppi</i></b>	<b><i>Kuvaus</i></b>
VIH1	Rehevä kattopuutarha
VIH2	Karu kattopuutarha
VIH3	Viherkatto



**Kuva 2.4.** RT 85-10709 (1999) -ohjekortin mukaiset viherkattojen kattokasvillisuustyy-  
pit

Ohjeen mukaan viherkatto voidaan rakentaa loivalle tai jyrkälle katolle. Rehevä ja karu kattopuutarha voidaan toteuttaa vain loivalla katolla. Oleskeluun tarkoitetuiksi ka-  
toiksi VIH1 ja VIH2 sopivat parhaiten. Molemmat kattopuutarhatyytit ovat hoitoa vaa-  
tivia. VIH3 eli viherkatto suunnitellaan yleensä niin, että sitä ei käytetä oleskeluun eikä  
kasvillisuus vaadi jatkuvaa hoitoa.

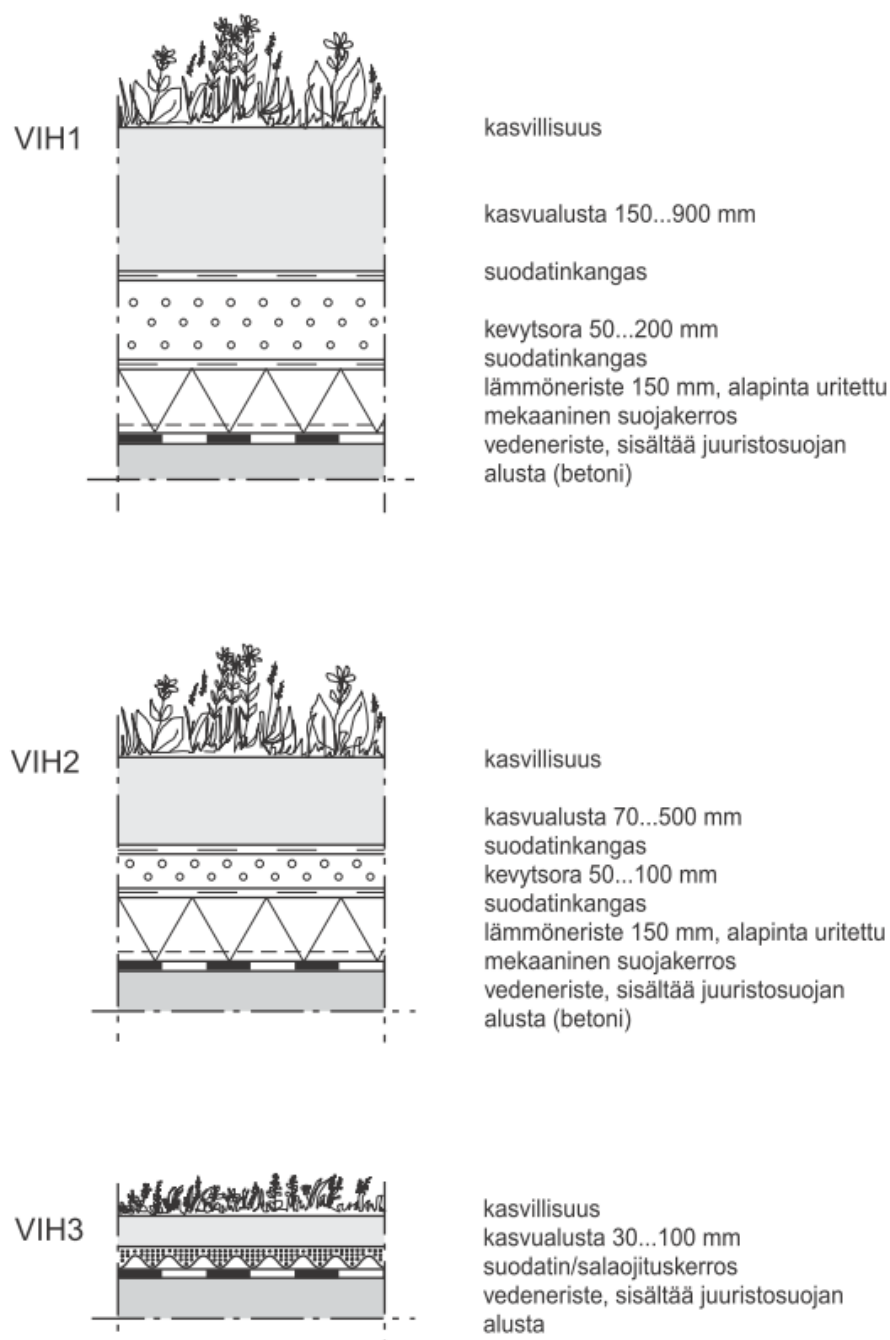
Kattopuutarhassa (VIH1) kasvien valitsemista rajoittaa katon rakenteiden kuormi-  
tuksen kesto, muuten valinta voidaan tehdä useimpien pihapuutarhojen kasvivaihtoeh-  
doista. Rehevään kattopuutarhaan tehdään niin syvä kasvualusta, että puiden ja pensai-  
den istutus on mahdollista. Rehevässä kattopuutarhassa voidaan käyttää myös kasveja,  
jotka eivät kestä pakkasta, sekä yksivuotisia kasveja, joiden istutus tai kylvö pitää tehdä  
vuosittain. Viherkatot ovat yleisesti alttiina suuremmille tuulennopeuksille ja auringon  
säteilymäärille. Kasvien kasvualusta on usein ohuempi kuin maan päällä. Nämä asiat  
vaikuttavat kasvien kokonaishaihduntaan kasvattamalla sitä. Kasvien kosteusvajetta  
lisää myös se, että viherkaton kasvit ovat katolla, jossa pohjavettä tai maavettä ei ole  
tarjolla. Kattopuutarhat tarvitsevatkin usein sadeveden lisäksi kastelua kuten tavalliset  
puutarhat (Grant et al. 2003). Jos kohde on vaativa, voidaan katolla käyttää erillisiä au-  
tomaattisia kastelujärjestelmiä (RT 85-10709 1999).

Karun kattopuutarhan (VIH2) kasvityypit valitaan usein niin, että ne eivät vaadi yhtä  
paljon hoitoa kuin rehevässä kattopuutarhassa. Karun kattopuutarhan kasvualustan sy-  
vyys rajoitetaan, jotta rakenteen omapaino ei kasva liian suureksi. Istutettavia kasveja  
voivat olla esimerkiksi matalat pensaat, maanpeittokasvit sekä erilaiset kukkakedot.  
Karussa kattopuutarhassa kasvien tulee kestää ajoittain kuivuutta, pakkasta, tauteja ja

tuholaisia. Kasvit on hyvä valita myös niin, että niillä on peittävä kasvutapa, jotta rikkaruohoille ei jää tilaa.

Kasvillisuustyypin VIH3 viherkaton kasvit pitää valita niin että ne kestävät kuivuutta, vähäistä ravinnemäärää ja talvioloja. Kasvien tulee myös selvitä ilman leikkausta ja muuta hoitoa. Maksaruoho, sammalet ja kuivaniitty-lajit ovat hyviä vaihtoehtoja. (RT 85-10709 1999)

RT-kortissa esitetään myös esimerkkejä kattokasvillisuuskerroksista ja niiden alapuolisesta rakenteesta. Ohjeen esimerkit esitetään kuvassa 2.5.



**Kuva 2.5.** Esimerkkejä kattokasvillisuuskerroksista ja alapuolisesta rakenteesta (RT 85-10709 1999)

Kuvassa 2.5 on esitetty eri viherkattotyyppien alusrakenteetkin. Rakennetyypit eivät sovellu tällaisinaan lämpimän uudisrakennuksen yläpohjaksi. Niiden lämmöneristyskerrokset ovat liian ohuita.

Uudemmassa, 2016 julkaistussa, RT-kortissa ”Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet” (RT 85-11203 2016) viherkatot jaetaan neljään päätyyppiin kasvillisuuden mukaan. Päätyypit ovat: maksaruohokatto, niitty- / ketokatto, heinäkatto ja kattopuutarha. Maksaruohokatolla kasvillisuutena käytetään maksaruohoja sekä muita lajeja, joilla on vastaavat kasvuolosuhteet. Kasvien pitää kestää kuivuutta ja paahdetta sekä uusiutua omavaraisesti. Kasvillisuustyyppi vastaa VIH3 kasvillisuutta. Niitty- / ketokatto ja heinäkatto ovat kasvillisuustyypeiltään VIH2:ta vastaavia. Kattopuutarhassa kasvillisuus on VIH1:tä vastaava. Työn luvussa 4 esitetään uudemman RT-kortin mukaisia viherkattorakennetyyppejä.

The GRO Green Roof Code (2011) -viherkatto-opas jakaa viherkatot neljään erilaiseen viherkattotyyppiin: ekstensiiviseen viherkattoon (extensive green roof), biodiversiteettikattoon (biodiverse roof), puoli-intensiiviseen viherkattoon (semi intensive green roof) ja intensiiviseen viherkattoon (intensive green roof). Viherkattotyyppit esitetään taulukossa 2.3. Näistä ekstensiivinen viherkatto ja biodiversiteettikatto vastaavat RT 85-10709 (1999) -ohjekortin VIH3-kasvillisuustyyppiä. Ne ovat kevyitä ja huoltovapaita viherkattotyyppiejä. Biodiversiteettikatto vastaa muuten ekstensiivistä kattoa, mutta se on suunniteltu joillekin tietyille eläin- tai kasvityypeille. Biodiversiteettikatolla voidaan esimerkiksi yrittää jäljitellä aiemmin rakennuksen paikalla ollutta kasvillisuutta. Intensiivinen viherkatto tarkoittaa kattopuutarhaa, kuten VIH1. Se on suunniteltu oleskelupaikaksi, joka vaatii huoltoa ja kastelua. puoli-intensiivinen viherkatto vastaa VIH2-kasvillisuustyyppiä. Siinä on piirteitä sekä ekstensiivisistä että intensiivisistä viherkattotyypeistä.

**Taulukko 2.3.** Viherkattotyyppit The GRO Green Roof Code:n mukaan (The GRO Green Roof Code 2011)

<b>Katon nimitys</b>	<b>Kuvaus</b>
Ekstensiivinen viherkatto (Extensive green roof)	Kevyt, vähän huoltoa tarvitseva viherkatto
Biodiversiteetti katto (Biodiverse roof)	Tietyille eläin- tai kasvityypeille suunniteltu ekstensiivinen viherkatto
Puoli-intensiivinen viherkatto (Semi-intensive green roof)	Ekstensiivisen ja intensiivisen viherkaton välimuoto
Intensiivinen viherkatto (Intensive green roof)	Kattopuutarha

FLL:n ohjeessa Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites (2002) jaottelu on tehty kasvillisuudelle kolmeen eri tyyppiin: intensiiviseen (intensive greening), yksinkertaiseen intensiiviseen (simple intensive greening) ja eksten-



siiviseen (extensive greening). Nämä vastaavat RT 85-10709 (1999) -ohjekortin kasvillisuustyyppinä VIH1, VIH2 ja VIH3. Ohjeen viherkattotyyppit esitetään taulukossa 2.4.

**Taulukko 2.4.** Viherkattokasvillisuustyyppit (*Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002*)

<b>Kasvillisuustyyppit</b>	<b>Kuvaus</b>
Intensiivinen kasvillisuus (Intensive greening)	huoltoa vaativa, monimuotoinen kasvillisuus
Yksinkertainen intensiivinen kasvillisuus (Simple intensive greening)	vähän kastelua ja ravintoa vaativa kasvillisuus
Ekstensiivinen kasvillisuus (Extensive greening)	ilman hoitoa katon olosuhteissa selviävä kasvillisuus

Viherkaton kasvillisuudelle on paljon vaihtoehtoja ja niitä voidaan jakaa ryhmiin monella tavalla. Samalla katolla voi olla myös moneen kasvillisuusryhmään kuuluvia kasveja tai katto voidaan jakaa erilaisiin osiin, joissa kasvillisuustyyppi vaihtelee.

Kattojen jako vain kasvillisuuden ja kasvialustan mukaan ei kuitenkaan kuvaa koko katon toimintaa tai ominaisuuksia. Helsingin yliopiston raportissa (Laurila et al. 2014) ehdotetaan viherkatolle kehitettäväksi toisenlaista luokittelua viherkatolta tavoiteltavan hyödyn mukaan. Esimerkiksi hulevesien pidättämiseen rakennetun katon vaadittu vedenpidätyskyky olisi määritelty ja luonnon monimuotoisuutta lisäävän katon tarvittavat ominaisuudet olisi lueteltu viherkattotyyppin luokassa.

### 3 VIHHERKATTOJEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA

Vaikka viherkatto on elävä ja viehättävä, on sen kuitenkin täytettävä kaikki tavanomaisen vesikaton vaatimukset (Snodgrass & McIntyre 2010). Ennen kaikkea katon on oltava kestävä. Yläpohjarakenteen käyttöikätaavoite on yleensä 25 - 50 vuotta. Rakennuksen osien käyttöikä on ympäristövaikutusten arvioinnin tärkein lähtökohta (Nieminen & Kouhia 1999).

Viherkatto voidaan suunnitella ja toteuttaa joko normaalina kattorakenteena tai käännettynä rakenteena. Yleensä loivat viherkatot toteutetaan käännettyinä rakenteina (Toimivat katot 2013). Harja- ja pulpettikattoisissa rakennuksissa voidaan käyttää kevyttä viherkattoa ja tuulettuvaa yläpohjarakennetta (RIL 107-2012). Kattorakenteiden kestävyys tulee varmistaa viherkatosta aiheutuvalle lisäkuormalle, joka voi olla rehevissä kattopuutarhoissa jopa yli 10 kN/m<sup>2</sup> (RT 85-10709 1999). Kaikkien vesikattojen tapaan viherkaton vedeneristyksen toimivuus on tärkeä asia katon toiminnan kannalta.

Seuraavissa alaotsikoissa käsitellään katon suunnitteluun liittyviä aiheita. Suunnittelussa huomioon otettavia asioita tarkastellaan yleisesti sekä esitetään viherkaton synnyttämiä erityisvaatimuksia niihin liittyen.

#### 3.1 Kuormat

Eurooppalaisessa standardissa SFS-EN 1991-1-1 (2002) esitetään mitoitusohjeita ja mitoituskuormia rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnitteluun. Standardista saadaan rakennusmateriaalien ja varastoitavien tuotteiden tilavuuspainot, rakennusosien omat painot sekä rakennusten hyötykuormat.

Viherkattojen rakennekuormiin tulee huomioida kasvien kasvukerroksen aiheuttama lisäkuormitus. Tämän tasaisen kuorman lisäksi pistekuormia voi tulla katolle raskaista istutuksista, kuten puista ja istutuslaatikoista (RT 85-10709 1999). Viherkaton tuomat lisäkuormat on hyvä arvioida varmalle puolelle. Kuvissa 3.1 ja 3.2 esitetään esimerkkejä tapauksista, joissa viherkattoja kannattaneet rakenteet ovat romahtaneet.



**Kuva 3.1.** Vuonna 2011 Yhdysvalloissa romahtanut viherkatto (Fountain 18.2.2011)



**Kuva 3.2.** Latviassa vuonna 2013 romahtanut rakenteilla ollut viherkatto (Maxima-marketin romahtaminen johtui karkeista laskuvirheistä 29.11.2013)

Kuvan 3.1 romahtanut viherkatto oli Yhdysvalloissa Illinoisissa 6 vuotta vanha parkkitalon katto, joka oli romahtanut rankan lumisateen jälkeen. Kuvan 3.2 katto oli

Latviassa rakenteilla ollut kauppakeskuksen katto, jonka päälle rakennettiin kattopuu-tarhaa.

### 3.1.1 Pysyvät kuormat

FLL-ohjeissa annetaan joitakin viherkattorakenteissa käytettyjen materiaalien painoja (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002). Nämä esitetään taulukoissa 3.1, 3.2 ja 3.3.

**Taulukko 3.1.** Salaojituserrosten painoja (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002)

<b>Materiaali</b>	<b>paino [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Sora / 1 m	16 - 18
Kevytsora / 1 m	0,5 - 0,6
Tiilimurska / 1 m	10 - 13
Salaojamatot	0,021 - 0,075
Salaojalevyt	0,11 - 0,46
Tiilimurske / 1m	10 - 13
Solulasimurske / 1m	0,025 - 0,03

**Taulukko 3.2.** Kasvillisuuserrosten painoja (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002)

<b>Kasvillisuustyyppi</b>	<b>paino [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Ekstensiivisen viherkaton kasvillisuus	0,1
Yksinkertaisen intensiivisen viherkaton kasvillisuus	0,1 - 0,2
Intensiivisen viherkaton kasvillisuus	0,1 - 1,5

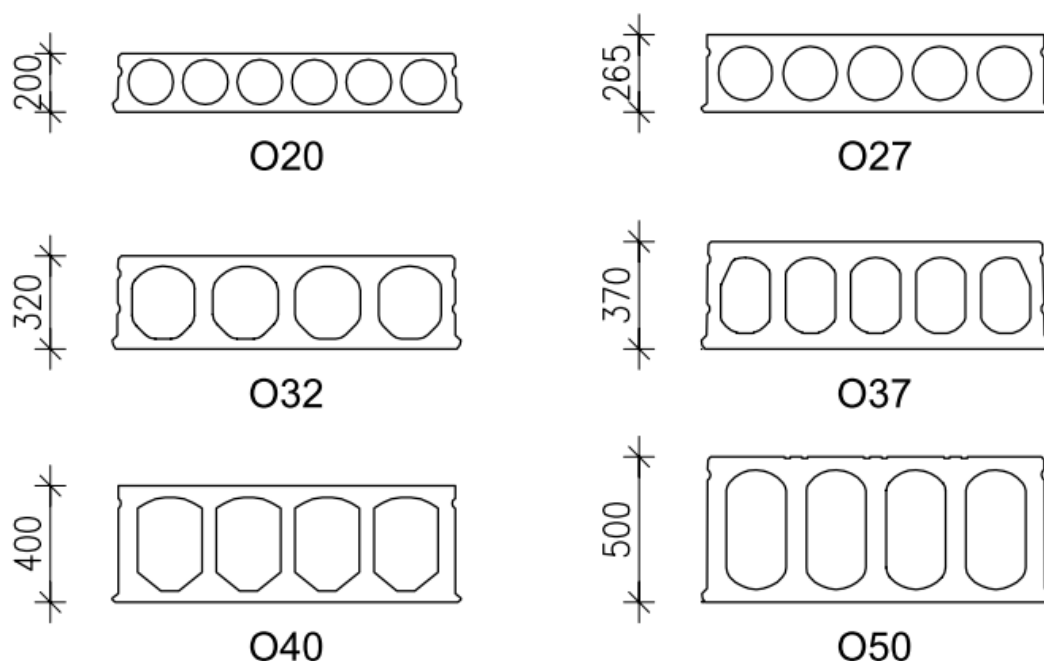
**Taulukko 3.3.** Kasvualustakerrosten painoja suurimmassa vesipitoisuudessa (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002)

<b>Kasvualustakerroksen tyyppi</b>	<b>paino [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Multaseokset 1 m	16 - 19
Hiekkaseokset 1 m	16 - 18
Kiviainesten ja orgaanisten aineiden sekoitukset 1 m	7 - 18
Kiviainekset 1 m	7 - 18
Tiilimurska 1 m	10 - 13
Kasvualustalevyt 1 cm	0,1
Kasvillisuusmatot 1 cm	0,2 - 0,5

Taulukoista 3.1, 3.2 ja 3.3 nähdään, että kasvillisuuden kasvualustalla on suurin vaikutus viherkatosta aiheutuvaan kantavien rakenteiden lisäkuormaan, varsinkin jos ker-

ros on paksu eikä käytetä valmiita kasvualustalevyjä tai kasvillisuusmattoja. Viherkatto-tyypistä riippuen kasvualustan paksuus vaihtelee noin 100 mm:stä jopa yhteen metriin. Katolle asennettavien erillisten istutuskaukaloiden tai puiden aiheuttamat pistekuormat pitää huomioida erikseen.

Viherkaton muiden kerrosten paino määritetään samalla tavalla kuin viherkerroksia. Raudoitetun betonin nimellisenä tilavuuspainona  $\gamma$  voi SFS-EN 1991-1-1 (2002):n mukaan käyttää arvoa  $25 \text{ kN/m}^2$ . Betonirunkoisten rakennusten yleisin yläpohjalaattatyyppi on ontelolaatasto. Laattojen paksuudet vaihtelevat 150 mm:stä 500 mm:iin ja niiden poikkileikkauksia on esitetty kuvassa 3.3. Laatan tyyppi kertoo laatan korkeuden lukuun ottamatta O27 laattaa, jonka korkeus on 265 mm.



**Kuva 3.3.** Ontelolaattatyyppejä

Kuvan 3.3 ontelolaattaprofiilien omapainot näkyvät taulukossa 3.4.

**Taulukko 3.4.** Ontelolaattatyyppien painot (Ontelolaatat 2010)

LAATTATYYPPI	Laataston paino [ $\text{kg/m}^2$ ]	Laataston paino saumatuna [ $\text{kg/m}^2$ ]
O15	205	215
O20	245	260
O27	360	380
O32	380	400
O37	485	510
O40	435	465
O50	560	600

Rivitalojen ja asuinkerrostalojen yläpohjan yleisin ontelolaattatyyppe on O27, jonka paino saumattuna taulukon mukaan on  $380 \text{ kg/m}^2$  eli  $3,8 \text{ kN/m}^2$ . Pihakansissa yleinen laattatyyppe on O50 sen pitkän maksimijännemitan takia. O50 paino taulukon mukaan on saumattuna  $6 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.1.2 Hyötykuorma

SFS-EN 1991-1-1 (2002) mukaan vesikatot luokitellaan katon käyttötarkoituksen ja katolle pääsyn perusteella kolmeen eri luokkaan, jotka esitetään taulussa 3.5:

**Taulukko 3.5.** Vesikattojen luokat (SFS-EN 1991-1-1 2002)

<b>Katon kuormitusalueen luokka</b>	<b>Käyttötarkoitus</b>
H	Normaali kunnossapito ja korjaaminen
I	SFS-EN 1991-1-1 käyttöluokkien A-D mukainen käyttö
K	Erityistoiminnot, esimerkiksi helikopterin laskeutumisalusta

Standardin Suomen kansallisen liitteen mukaan luokan H kattojen hyötykuormat ovat  $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$  ja  $Q_k = 1,0 \text{ kN}$ . Neliökuorma  $q_k$  lasketaan enintään  $10 \text{ m}^2$  pinta-alueelle. (Standardin SFS-EN 1991-1-1 kansallinen liite 2007)

Taulukon 3.5 luokan I kattojen käyttöluokkien määritelmät on esitetty standardissa SFS-EN 1991-1 (2002) ja niitä vastaavat hyötykuormat on määritetty standardin Suomen kansallisessa liitteessä (taulukko 3.6).

**Taulukko 3.6.** Taulukon 3.5 luokan I käyttötarkoitusta vastaavien vesikattojen määritelmät ja hyötykuormat (SFS-EN 1991-1-1 2002, Standardin SFS-EN 1991-1-1 kansallinen liite 2007)

<b>Luokka</b>	<b>Käyttötarkoitus</b>	<b><math>q_k</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>Q_k</math> [kN]</b>
<b>A</b>	Asuin- ja majoitustilat		
	- välipohjat	2,0	2,0
	- portaat	2,0	2,0
	- parvekkeet	2,5	2,0
<b>B</b>	Toimistotilat	2,5	2,0
<b>C</b>	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (pois lukien A,B ja D luokat)		
	- C1: tilat, joissa on pöytiä yms.	2,5	3,0
	- C2: tilat, joissa on kiinteät istuimet	3,0	3,0
	- C3: tilat, joissa ei ole liikumista rajoittavia esteitä	4,0	4,0
	- C4: liikuntatilat	5,0	4,0
	- C5: tilat, joihin voi syntyä tungosta	6,0	4,0
<b>D</b>	Myymälätilat		
	- D1: Vähittäiskauppojen tilat	4,0	4,0
	- D2: Tavaratalojen tilat	5,0	7,0

Vesikatot tarkastellaan erikseen taulukon tasaisen kuorman ja pistekuorman tapauksissa eikä kuormien oleteta vaikuttavan samanaikaisesti.

Viherkatolla, jota ei ole tarkoitettu oleskeluun, hyötykuorma aiheutuisi lumen lisäksi normaalista kunnossapidosta ja korjaamisesta. Toisaalta viherkaton kunnossapito ja huolto poikkeaa tavallisesta katosta, joten voisi olla perusteltua käyttää suurempiakin hyötykuormia. Oleskeluun tarkoitettussa viherkatossa hyötykuormana ihmisten kokoontumisesta voitaisiin käyttää jopa taulukon luokan C3 arvoa 4,0 kN/m<sup>2</sup>.

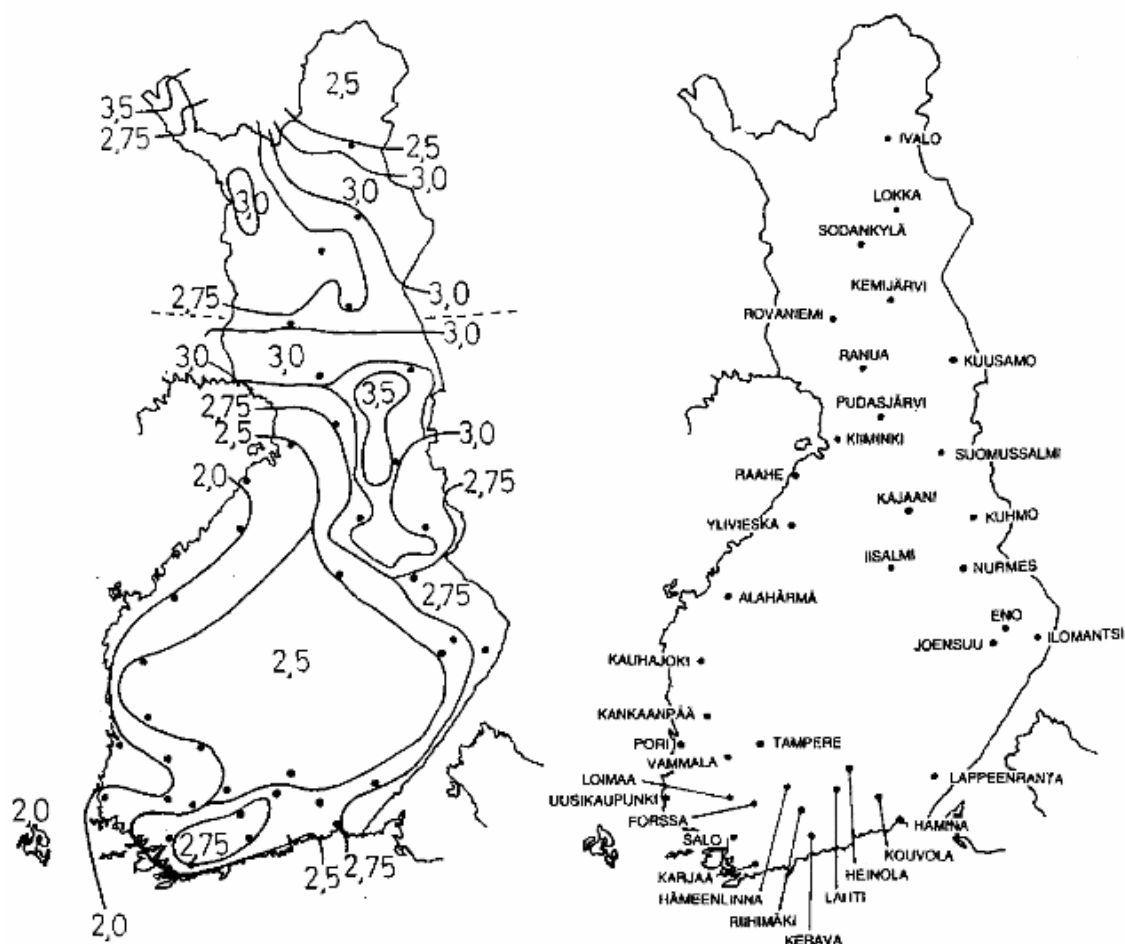
### 3.1.3 Lumikuorma

Lumikuormaa käsitellään eurooppalaisessa standardissa SFS-EN 1991-1-3 (2004). Standardin mukaan kattojen lumikuormat määritellään kuitenkin normaalisti vallitsevissa mitoitustilanteissa seuraavasti:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k, \quad (3.1)$$

jossa  $s_k$  on maanpinnan lumikuorman ominaisarvo [ $\text{kN/m}^2$ ],  $\mu_i$  on lumikuorman muotokerroin,  $C_e$  on tuulensuojakerroin ja  $C_t$  on lämpökerroin.

Lämpökertoimen arvona käytetään saman standardin Suomen kansallisen liitteen mukaan arvoa 1,0, jos ei tehdä tarkempia selvityksiä. Tuulensuojakertoimena käytettävät arvot esitetään myös kansallisessa liitteessä. Maastotyyppistä riippuen arvona käytetään 0,8 - 1,2. SFS-EN 1991-1-3 (2004) opastavassa liitteessä C esitetään Euroopan maiden maanpinnan lumikuormakarttoja. Suomessa ei kuitenkaan käytetä näitä arvoja. Kuvassa 3.4 esitetään saman standardin Suomen kansallisen liitteen mukaiset Suomessa käytettävät lumikuorman minimiominaisarvot.



**Kuva 3.4.** Lumikuorman ominaisarvot maan pinnalla Suomessa (Standardin SFS-EN 1991-1-3 kansallinen liite 2007)

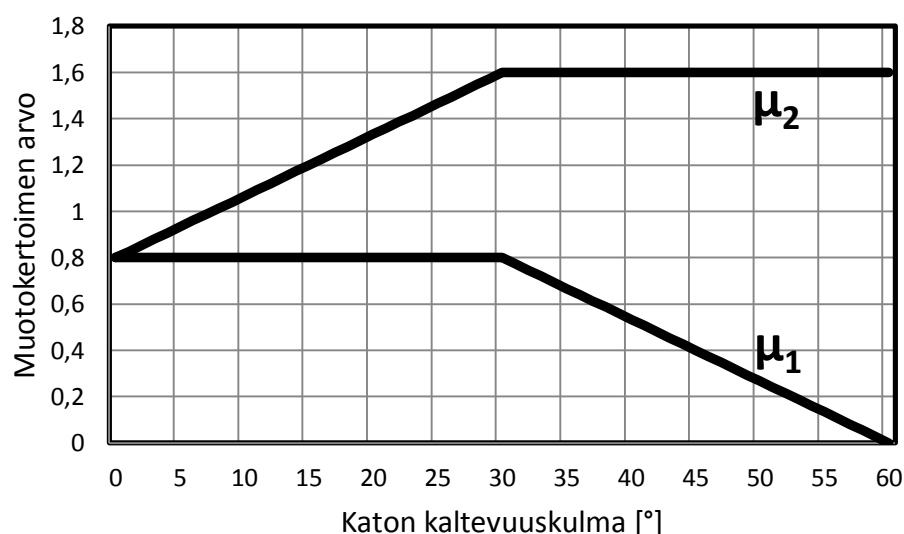
Katon kaltevuus huomioidaan kaavan (3.1) lumikuorman muotokertoimessa  $\mu_i$ . Taulukossa 3.7 on SFS-EN 1991-1-3 (2004) mukaiset lumikuorman muotokertoimet katon kaltevuuskulman  $\alpha$  mukaan.

**Taulukko 3.7.** Lumikuorman muotokertoimet (SFS-EN 1991-1-3 2004)

Katon kaltevuuskulma $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1 =$	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0
$\mu_2 =$	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	1,6



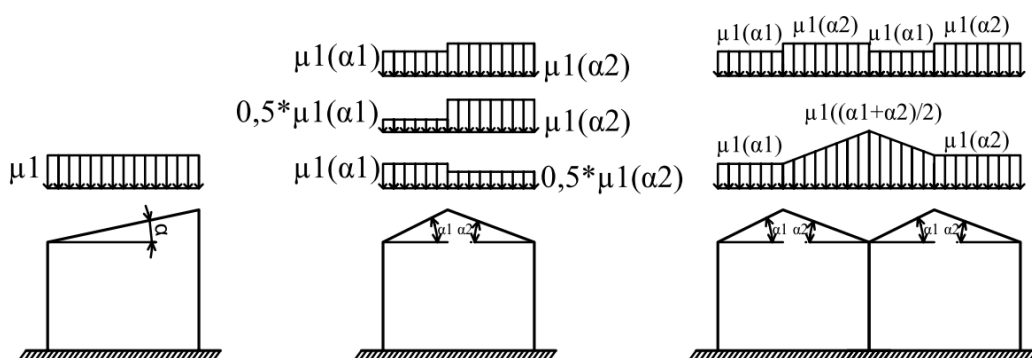
Taulukossa 3.7 on myös standardin SFS-EN 1991-1-3 (2004) Suomen kansallisen liitteen mukaisesti  $\mu_2$ :n arvo 1,6 yli 60 ° kaltevuuskulmalle. Alkuperäisessä standardissa se on jätetty käsittelemättä. Seuraavassa kuvassa esitetään muotokertoimien arvot graafisesti (kuva 3.5).



**Kuva 3.5.** Lumikuorman muotokertoimet

Kuvan 3.5 muotokertoimien käyttö riippuu katon tyypistä. Pultetti- ja harjakattojen kuormituskaavioihin tarvitaan vain kerroin  $\mu_1$ . Kerrointa  $\mu_2$  käytetään sahakattojen kuormituskaaviossa. Kuormituskaaviot on määritelty sekä kinostumattomalle että kinostuneelle lumikuormalle. Kumpikin näistä pääasiallisista kuormitustapauksista tulee huomioida lumikuormia laskettaessa. (SFS-EN 1991-1-3 2004)

Kuvassa 3.6 esitetään erilaisten kattotyypien kuormitustapauksia:

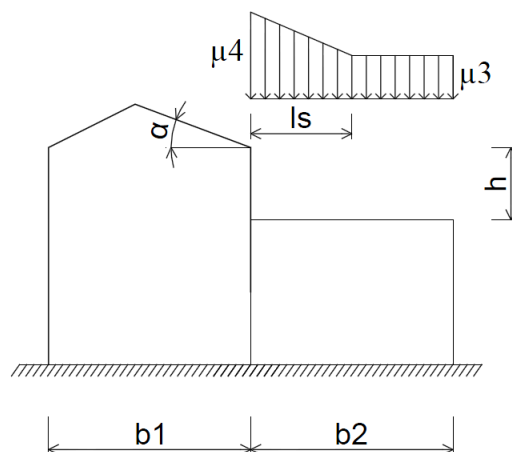


**Kuva 3.6.** Lumikuorman kuormitustapaukset erilaisilla kattotyypeillä

Kuvan 3.6 kuormitustapaus on voimassa pultettikatoilla, jos lumen liukuminen katoilta ei ole estetty. Muotokertoimen arvon tulee kuitenkin olla vähintään 0,8, jos katolla on lumieste tai katon alaräystäällä on kaide. Harjakaton ylin kuormitustapaus kuvaa kinostumatonta lunta ja kaksi alimmaista kinostunutta lunta. Sahakaton ylempi kuormi-

tustapaus kuvaa kinostumatonta ja alempi kinostunutta lumikuormaa. (SFS-EN 1991-1-3 2004)

Lumen kinostuminen korkeampaa rakennuskohdetta vasten tulee huomioida kuvassa 3.7 esitetyn tavan mukaan. Katon kuorma muodostuu sen omasta lumikuormasta, korkeammalta katolta mahdollisesti putoavasta lumesta sekä tuulen aiheuttamasta lumen kinostumisesta. (SFS-EN 1991-1-3 2004)



**Kuva 3.7.** Korkeampaa rakennusta vasten olevan katon kuormakertoimet ja kuormituskaavio

Kuvassa 3.7 näkyvä mitta  $l_s$  on lumen kinostumis pituus. Eurooppalaisessa standardissa (SFS-EN 1991-1-3 2004) se on määritetty seuraavasti:

$$l_s = 2 * h, \quad (3.2)$$

jossa  $h$  on ylemmän ja alemman katon korkeusero [m] kuvan mukaisesti. Kinostumis pituuden vaihteluväli kansallisen liitteen mukaisesti on 2 - 6 m.

Kuvassa 3.7 lumikuorman muotokerroin  $\mu_3$  on kattotyypin oma kerroin. Tasakaton tapauksessa sen arvo on 0,8. Toinen kuvan kerroin,  $\mu_4$ , määritetään seuraavasti:

$$\mu_4 = \mu_s + \mu_w, \quad (3.3)$$

jossa  $\mu_s$  on ylemmältä katolta liukuvan lumen aiheuttaman lumikuorman muotokerroin ja  $\mu_w$  on tuulesta johtuva lumikuorman muotokerroin.

Ylemmältä katolta liukuvan lumen aiheuttaman lumikuorman muotokertoimen  $\mu_s$  arvo riippuu ylemmän katon lappeen kaltevuudesta kaavojen 3.4 ja 3.5 mukaisesti:

$$\mu_s = 0, \text{ kun } \alpha \leq 15^\circ \quad (3.4)$$

$$\mu_s = 0,5 * \mu_1, \text{ kun } \alpha > 15^\circ \quad (3.5)$$

joissa  $\alpha$  on ylemmän katon lappeen kaltevuuskulma [°] ja  $\mu_1$  on ylemmän katon lappeella vaikuttava lumikuorman muotokerroin.

Tuulesta johtuvan lumikuorman muotokerroin  $\mu_w$  saadaan kaavasta 3.6:

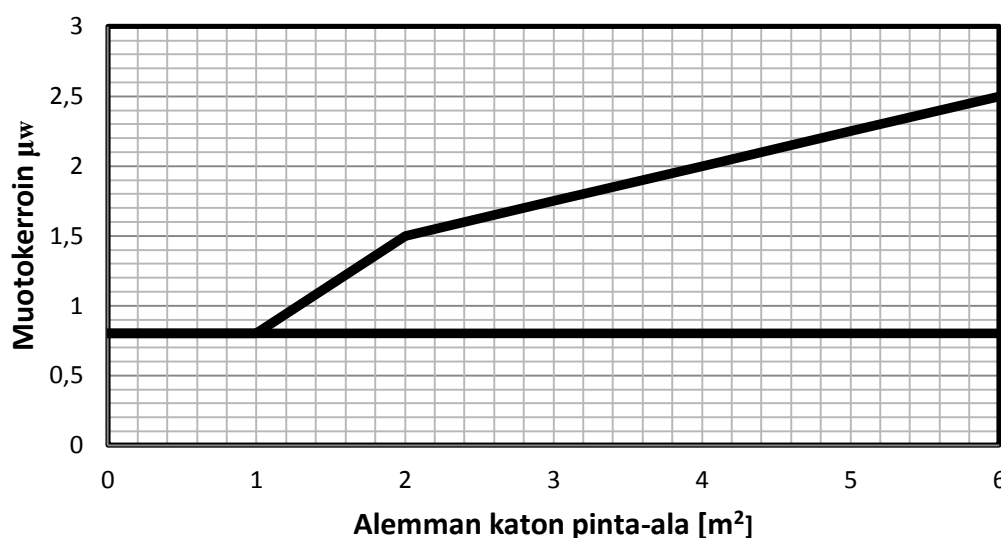
$$\mu_w = (b_1 + b_2)/(2 * h) \leq \gamma * h/s_k, \quad (3.6)$$

jossa  $b_1$  ja  $b_2$  ovat kuvan 3.7 mukaisia rakennusten leveyksiä [m],  $h$  on kattojen korkeusero [m],  $\gamma$  lumen tilavuuspaino (käytetään arvoa  $2 \text{ kN/m}^3$ ) ja  $s_k$  on maanpinnan lumikuorman ominaisarvo [ $\text{kN/m}^2$ ].

Kertoimelle  $\mu_w$  on SFS-EN 1991-1-3 (2004) Suomen kansallisessa liitteessä määritetty vaihteluväli, joka määräytyy alemman katon pinta-alan mukaan kaavoilla 3.7:

$$\begin{aligned} \mu_w &= 0,8, \text{ kun alemman katon pinta-ala} \leq 1 \text{ m}^2 \\ 0,8 &\leq \mu_w \leq 1,5, \text{ kun alemman katon pinta-ala} = 2 \text{ m}^2 \\ 0,8 &\leq \mu_w \leq 2,5, \text{ kun alemman katon pinta-ala} \geq 6 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Kun alemman katon pinta-ala on pienempi kuin  $6 \text{ m}^2$ , kertoimen ylärajan väli-arvot interpoloidaan lineaarisesti. Kuvassa 3.8 on esitetty sallittu vaihteluväli graafisesti:

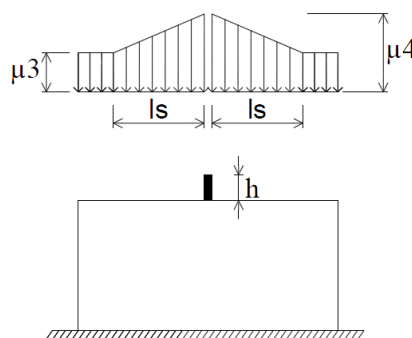


**Kuva 3.8.** Tuulesta johtuvan lumikuorman muotokertoimen  $\mu_w$  sallittu vaihteluväli SFS-EN 1991-1-3 (2004) mukaan

Kuvan 3.8 mukaan kerroin  $\mu_w$  on siis aina vähintään 0,8. Yli  $6 \text{ m}^2$  katoilla kertoimen yläraja-arvo on 2,5.

SFS-EN 1991-1-3 (2004) käsittelee myös joitain erikoistapauksia kattojen lumikuormien määrittämiseen. Näitä ovat ulkonemiin ja esteisiin aiheutuvat lumen kinostumat, räystäältä roikkuva lumi ja liukuvan lumen lumiesteisiin aiheuttama kuorma. Räystäältä riippuvaa lumea ei Suomen kansallisen liitteen mukaan oteta huomioon.

Tuulisissa olosuhteissa lumi voi kinostua katolla sijaitsevien esteiden viereen. Periaate on sama kuin korkeamman katon vieressä olevan katon lumikuorman laskennassa. Katolle lasketaan sen muodon mukainen oma lumikuorman kuormakerroin, jonka lisäksi esteen viereen kasaantuu lisälumikuorma, jolla on oma kuormakerroin. Lisälumikuorma jakaantuu kinostumispuutteen  $l_s$  matkalle. SFS-EN 1991-1-3 (2004) Suomen kansallinen liite määrittelee kinostumispuutteen vaihteluvälin, joka on sama kuin korkeamman rakennuksen viereen kasaantuvalla lumella. Kuvassa 3.9 on näytetty SFS-EN 1991-1-3 (2004) mukaiset lumikuorman muotokertoimien jakaantuminen.



**Kuva 3.9.** Lumikuorman muotokertoimet ja kuormituskaavio katolla sijaitsevan esteen kohdalla

Kuvan 3.9 kerroin  $\mu_3$  on katon lumikuorman muotokerroin ja kerroin  $\mu_4$  on muotokerroin esteen vieressä. Se määritellään standardissa seuraavasti:

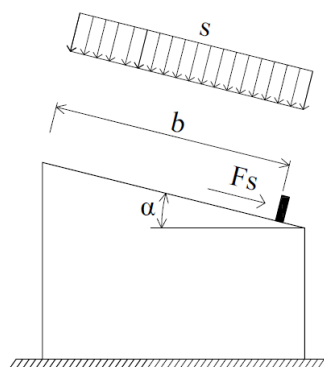
$$\mu_4 = \gamma * h / s_k, \quad (3.8)$$

jossa  $\gamma$  on lumen tilavuuspaino (käytetään arvoa  $2 \text{ kN/m}^3$ ),  $h$  on esteen korkeus [m] ja  $s_k$  on maanpinnan lumikuorman ominaisarvo [ $\text{kN/m}^2$ ].

Lumen kinostuminen huomioidaan standardissa SFS-EN 1991-1-3 (2004) vain lähes vaakasuorilla katoilla. Kuvassa 3.10 esitetyllä tavalla kaltevilla katoilla, joissa lumen voidaan ajatella liukuvan kattoja pitkin lumiestettä päin, lumimassasta aiheutuva kuorma määritetään kaavalla 3.9:

$$F_s = s * b * \sin \alpha, \quad (3.9)$$

jossa  $s$  tarkoittaa vaarallisinta kinostumattoman lumen kuormitustapausta vastaava katon lumikuorma [ $\text{kN/m}^2$ ] katon alueella, josta lumi voi lähteä liukumaan,  $b$  tarkoittaa vaakatasossa mitattua etäisyyttä esteestä seuraavaan esteeseen tai katon harjalle [m] ja  $\alpha$  tarkoittaa katon kaltevuutta vaakatasoon nähden [ $^\circ$ ].



**Kuva 3.10.** Katolta liukuvan lumen aiheuttama voima lumiesteeseen

Kuvassa 3.10 on kaavan 3.9 mukainen tapaus, jossa lumikuorma kuormittaa kattoa, jonka kaltevuus vaakatasoon nähden on  $\alpha$ , kuormalla  $s$   $b$ :n matkalla ja aiheuttaa lumiesteeseen voiman  $F_s$ .

Viherkattoja käsittelevässä RT-ohjekortissa (RT 85-10709 1999) todetaan, että lumikuormiin tulisi lisätä viherkaton kasvillisuuden lunta sitova ja kasaava vaikutus. Viherkatolla lunta voi kasaantua esimerkiksi erillisten istutuslaatikoiden tai puiden ympärille ja kaikkiin pystysuoriin pintoihin katolla. Kasvillisuuden lunta sitovasta vaikutuksesta ei löytynyt tarkempaa tietoa, mutta sen voisi huomioida esimerkiksi korottamalla lumikuorman määritykseen käytettävän kaavan tuulensuojakertoimen arvoa.

## 3.2 Tuuli

Tuuli voi aiheuttaa positiivista ja negatiivista painetta sekä kitkaa, jotka vaikuttavat rakenteisiin. Tuulikuormien voimakkuus riippuu tuulen voimakkuudesta, suunnasta sekä rakennuksen muodosta ja korkeudesta. Tuulikuorma voi vaurioittaa kaikkea katolle rakennettua materiaalia, joko rakentamisen aikana tai valmiissa rakenteessa. (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002)

Eurooppalaisessa standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2005) annetaan ohjeet tuulikuormien määrittämiseen rakennusten rakennesuunnittelussa. Tuulivoimien laskenta alkaa maastoluokan valinnalla rakennuksen sijaintipaikan mukaan. Tämän jälkeen arvioidaan maan pinnanmuotojen vaikutus tuulivoimiin ja määritetään tuulen puuskanopeuspaine. Mitoitustilanteessa tulee päättää lasketaanko tuulivoimat voimakertoimien vai painekertoimien avulla. Jäykistävän rungon ja perustusten suunnittelussa yksinkertaisempi tapa on käyttää ensimmäistä vaihtoehtoa, voimakertoimien avulla tehtävää laskentaa. Yksittäisten rakenneosien mitoitukseen pitää kuitenkin käyttää painekertoimia. Paineekertoimien laskenta on siis tarpeellista esimerkiksi arvioitaessa katon viherkerrosten kiinnipysyvyyttä.

### 3.2.1 Tuulen vaikutus kattopintaan

Kattoon vaikuttava tuulenpaine saadaan sisäpintaan ja ulkopintaan vaikuttavien tuulenpaineiden summana. Tuulenpaineet saadaan kaavoista 3.10 ja 3.11:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}, \quad (3.10)$$

jossa  $q_p(z_e)$  on puuskanopeuspaine,  $z_e$  on ulkopuolisen paineen nopeuspainekorkeus ja  $c_{pe}$  on ulkopuolisen paineen paine kerroin.

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi}, \quad (3.11)$$

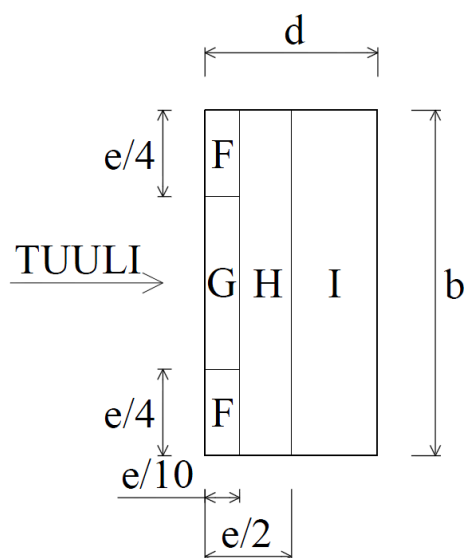
jossa  $q_p(z_i)$  on puuskanopeuspaine [ $\text{kN/m}^2$ ],  $z_i$  on sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus [m] ja  $c_{pi}$  on sisäpuolisen paineen paine kerroin.

Kaavoissa esiintyvä ulkopuolisen paineen nopeuspainekorkeutena,  $z_e$ , voidaan useimmissa tapauksissa käyttää rakennuksen kokonaiskorkeutta maasta katon korkeimpaan kohtaan.

#### *Painekertoimet*

Eurooppalainen standardi SFS-EN 1991-1-4 (2005) esittää painekertoimien määrittämisen erikseen tasakatoille, pulpettikatoille, harjakatoille, kuvetaitteisille katoille, aumakatoille, sahakatoille, kaarikatoille ja kupoleille. Viherkatto voidaan toteuttaa näistä kattotyypeistä kaikkiin, mutta tässä työssä esitetään painekertoimien määrittäminen tasa- ja harjakatoille.

Tasakatot jaetaan standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2005) neljään erilaiseen vyöhykkeeseen, joille määritetään omat ulkopuolisen paineen painekertoimet. Kuvassa 3.11 esitetään SFS-EN 1991-1-4 (2005) mukainen tasakaton vyöhykekaavio. Vyöhykekaavio on voimassa, kun tuulen suunta vaihtelee enintään  $45^\circ$  kaaviossa näkyvään tuulensuuntaan nähden.



**Kuva 3.11.** Tasakaton vyöhykekaavio painekertoimien määrittelyyn (SFS-EN 1991-1-4 2005)

Kuvan 3.11 mitta  $e$  tarkoittaa joko rakennuksen tuulelle poikkisuuntaista mitta  $b$  tai rakennuksen kaksinkertaista korkeutta  $2 \cdot h$ . Kertoimet jokaiselle alueelle voidaan lukea taulukosta 3.8:

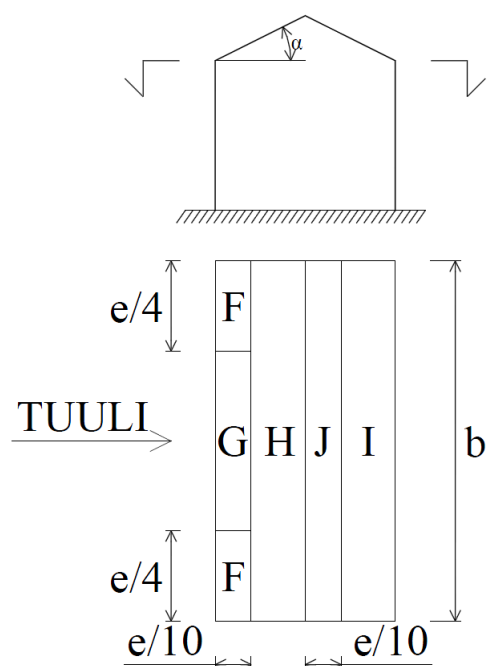
**Taulukko 3.8.** Tasakaton kuvassa 3.11 esitetyt ulkopuoliset painekertoimet (SFS-EN 1991-1-4 2005)

Kattotyyppi		Vyöhyke							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Teräväreunaiset räystää		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Kaiteilla varustetut räystää	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Pyöristetyt räystää	$r/h=0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
	$r/h=0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h=0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
Taitteiset räystää	$\alpha=30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
	$\alpha=45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
	$\alpha=60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2

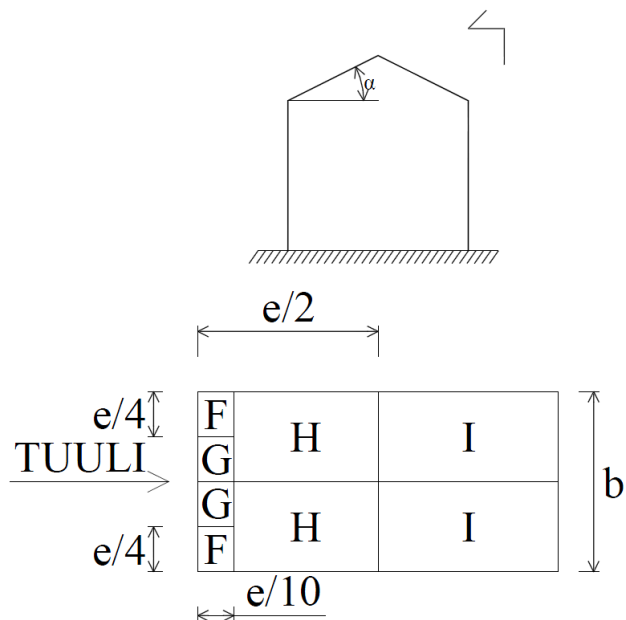
Taulukossa 3.8 esitetään ulkopuolisen paineen kertoimet tasakatoille. Räystäiden muoto vaikuttaa painekertoimiin ja taulukossa on eritelty teräväreunaiset, kaiteilla varustetut, pyöristetyt ja taitteiset räystää. Taulukossa  $h$  tarkoittaa rakennuksen korkeutta maan pinnalta vesikaton pintaan,  $h_p$  tarkoittaa kaiteen korkeutta,  $r$  tarkoittaa pyöristetyn räystään pyöristyksen sädettä ja  $\alpha$  taitteisen räystään taitteen kulmaa. Väliarvot suhteille  $h_p/h$  ja  $r/h$  sekä kulmalle  $\alpha$  voidaan interpoloida lineaarisesti.

Harjakatoille annetaan SFS-EN 1991-1-4 2005 -standardissa tasakattojen tapaan vyöhykekaavio sekä ulkoisten paineen kertoimet jokaiselle vyöhykkeelle. Vyöhykkeiden jako riippuu kuitenkin tuulen suunnasta. Vyöhykejako esitetään kuvissa 3.12 ja 3.13. Kuvissa näkyvä tuulen suunta voi vaihdella enintään  $45^\circ$  kumpaankin suuntaan kuvassa näkyvästä tuulen suunnasta.





**Kuva 3.12.** Harjakaton ulkoisen paineen vyöhykekaavio (SFS-EN 1991-1-4 2005)



**Kuva 3.13.** Harjakaton ulkoisen paineen vyöhykekaavio (SFS-EN 1991-1-4 2005)

Kuvissa 3.12 ja 3.13 mitta  $e$  tarkoittaa joko rakennuksen tuulelle poikkisuuntaista mitta  $b$  tai rakennuksen kaksinkertaista korkeutta  $2 \cdot h$ . Kertoimet kuvien jokaiselle alueelle voidaan lukea taulukoista 3.9 ja 3.10.

**Taulukko 3.9.** Ulkoisen paineen kuvaa 3.12 vastaavat kertoimet (SFS-EN 1991-1-4 2005)

<b>Kaltevuuskulma</b>	<b>Kuvan 3.12 mukainen vyöhyke</b>									
<b><math>\alpha</math></b>	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Tuulenpaine voi muuttua nopeasti positiivisten ja negatiivisten arvojen välillä, kun katon lappeen kaltevuuskulma on välillä  $5^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ . Tällaisilla katoilla täytyy tarkastella neljää eri tapausta, joissa alueiden F, G ja H suurimmat ja pienimmät arvot yhdistetään alueiden I ja J suurimpien tai pienempien arvojen kanssa, kuitenkin niin että samalla lappeella käytetään vain joko positiivisia tai negatiivisia arvoja.

**Taulukko 3.10.** Ulkoisen paineen kuvaa 3.13 vastaavat kertoimet (SFS-EN 1991-1-4 2005)

<b>Kaltevuuskulma</b>	<b>Kuvan 3.13 mukainen vyöhyke</b>							
<b><math>\alpha</math></b>	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Taulukoiden 3.9 ja 3.10 arvoja  $C_{pe,10}$  ja  $C_{pe,1}$  käytetään kuormitetun alueen pinta-alan mukaan.  $C_{pe,10}$  käytetään, kun alueen pinta-ala on suurempi tai yhtä suuri kuin  $10 \text{ m}^2$ .  $C_{pe,1}$  käytetään pinta-alaltaan  $1 \text{ m}^2$  tai sitä pienemmillä alueilla.  $1 \text{ m}^2$  ja  $10 \text{ m}^2$  väliset pinta-alat saadaan kaavalla 3.12:

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) * \log_{10} * A, \quad (3.12)$$

jossa A tarkoittaa tarkasteltavan alueen pinta-alaa.

### **Kitkakuorma**

SFS-EN 1991-1-4 (2005) mukaan tuulesta syntyvän kitkan vaikutukset tulee huomioida kun tarkasteltavan rakennuksen tuulen suuntaisten pintojen kokonaisala on yli 4 kertaa tuulta vastaan kohtisuorien ulkopintojen kokonaisala. Suorakaiteen muotoisessa rakennuksessa molemmat suunnat, pitkittäinen ja poikittainen, tulee tarkastaa erikseen.

Kitkakuormat vaikuttavat ulkopintojen tasossa samaan suuntaan kuin tuuli. Kitkakuorma lasketaan kaavalla 3.13.

$$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z_e) * A_{fr}, \quad (3.13)$$

jossa  $c_{fr}$  on kitkakerroin,  $q_p(z_e)$  on puuskanopeuspaine [ $\text{kN/m}^2$ ] nopeuspainekorkeudella  $z_e$  [m] ja  $A_{fr}$  on kitkakuorman vaikutusala [ $\text{m}^2$ ] tuulen suuntaisella ulkopinnalla.

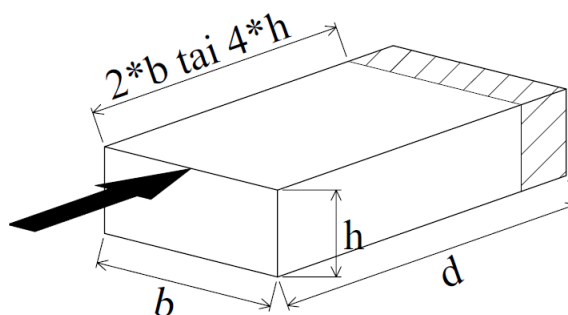
Kaavan 3.13 nopeuspainekorkeutena käytetään tavallisilla rakennuksilla rakennuksen korkeutta. Kitkakertoimet on määritelty kolmelle erilaiselle pinnalle. Nämä näkyvät taulukossa 3.11.

**Taulukko 3.11.** Kitkakertoimet kattopinnoille (SFS-EN 1991-1-4 2005)

<b>Pinta</b>	<b>Kitkakerroin <math>c_{fr}</math></b>
Sileä	0,01
Karhea	0,02
Hyvin karhea	0,04

Taulukon 3.11 sileällä pinnalla tarkoitetaan terästä tai sileää betonia ja karhealla esimerkiksi profiloituja katto- tai seinäpeltejä. Viherkatolla kitkakertoimena on varmasti hyvä käyttää taulukon mukaista hyvin karhean pinnan kitkakerrointa.

Kuvassa 3.14 esitetään kitkakuorman vaikutusala tuulensuuntaisella ulkopinnalla. Kuvassa nuoli kuvaa tuulen suuntaa ja raidoitettu alue kitkakuorman vaikutusala.



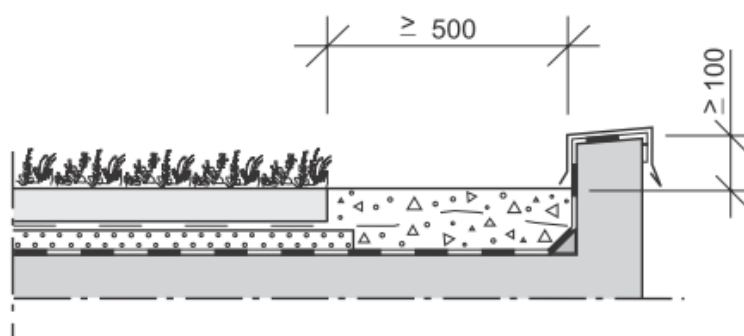
**Kuva 3.14.** Tuulesta aiheutuvan kitkakuorman vaikutusala,  $A_{fr}$ , SFS-EN 1991-1-4 (2005) mukaisesti

Kuvassa 3.14 näkyvän kitkakuorman vaikutusosalaksi määritetään SFS-EN 1991-1-4:ssä (2005) tuulensuuntaisen ulkopinnan osa, jonka etureunan etäisyys tuulenpuoleisesta räystäästä tai nurkista on pienempi arvoista  $2*b$  ja  $4*h$ .

### 3.2.2 Tuulen huomioon ottaminen katolla

Vedeneristeenä käytettävät kumibitumikermiä kiinnitetään alustaan bitumilla liimaamalla tai hitsaamalla, tarkoitukseen suunnitelluilla mekaanisilla kiinnikkeillä tai näiden yhdistelmillä (Toimivat katot 2013). Viherkatoilla vedeneristyskerros on aina peitetty katorakenteen muilla kerroksilla ja kiinnitetty alustansa, joten sen kiinnipysyminen on varmistettu.

Viherkaton kasvillisuuden ja kasvualustan kiinnipysyminen pitää tarkistaa. RT 85-10709 (1999) -ohjeen mukaan katon reuna-alueella ja nurkissa kasvillisuuden ja kasvualustan paikalla pysyvyyteen riittää tavanomaisissa tuulioloissa katon reuna-alueilla kuvan 3.15 mukainen n. 0,5 m leveä singelikerros.



**Kuva 3.15.** Tasakaton räystäään singelikerros (RT 85-10709 1999)

Viherkaton rakenteet pyritään pitämään mahdollisimman kevyinä, mutta joissain tapauksissa rakennekerrosten paksuuden kasvattaminen tai painavampien materiaalien käyttö voi olla tarpeellista niiden paikalla pysymisen varmistamiseksi. Reuna-alueilla

voidaan kuvassa 3.15 esitetyn singelikerroksen sijasta käyttää myös esimerkiksi betoni-laattoja. Nämä kaistat voivat toimia myös kulkureitteinä viherkatolla

Tuulikuormitus pitää huomioida myös rakentamisen aikana. Rakennusaineiden ja -tarvikkeiden tuulen mukana lentäminen pois katolta pitää estää.

Tuulieroosion vaikutusta voidaan vähentää kasvien oikealla sijoittelulla, tiheällä istutuksella, kasvillisuusmattojen ja katekankaiden käytöllä sekä pitämällä kasvualusta kosteana. Rakennekerrosten on kuitenkin pysyttävä paikallaan täysin kuivinakin. (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002, Toimivat katot 2013)

### 3.3 Kattokaltevuus

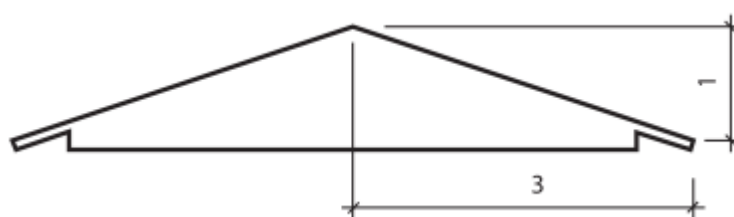
Katon kaltevuudella tarkoitetaan vedeneristetyn pinnan kaltevuutta. Viherrakennekerrokset asennetaan sen päälle. Yleensä vedeneristetyn pinnan ja viherrakenteiden kallistuksen pidetään samoina. (RT 85-11205 2016)

Kattorakenteet voidaan jakaa kaltevuuden mukaan (Pentti 2010):

- jyrkkiin kattoihin
- loiviin kattoihin
- tasakattoihin

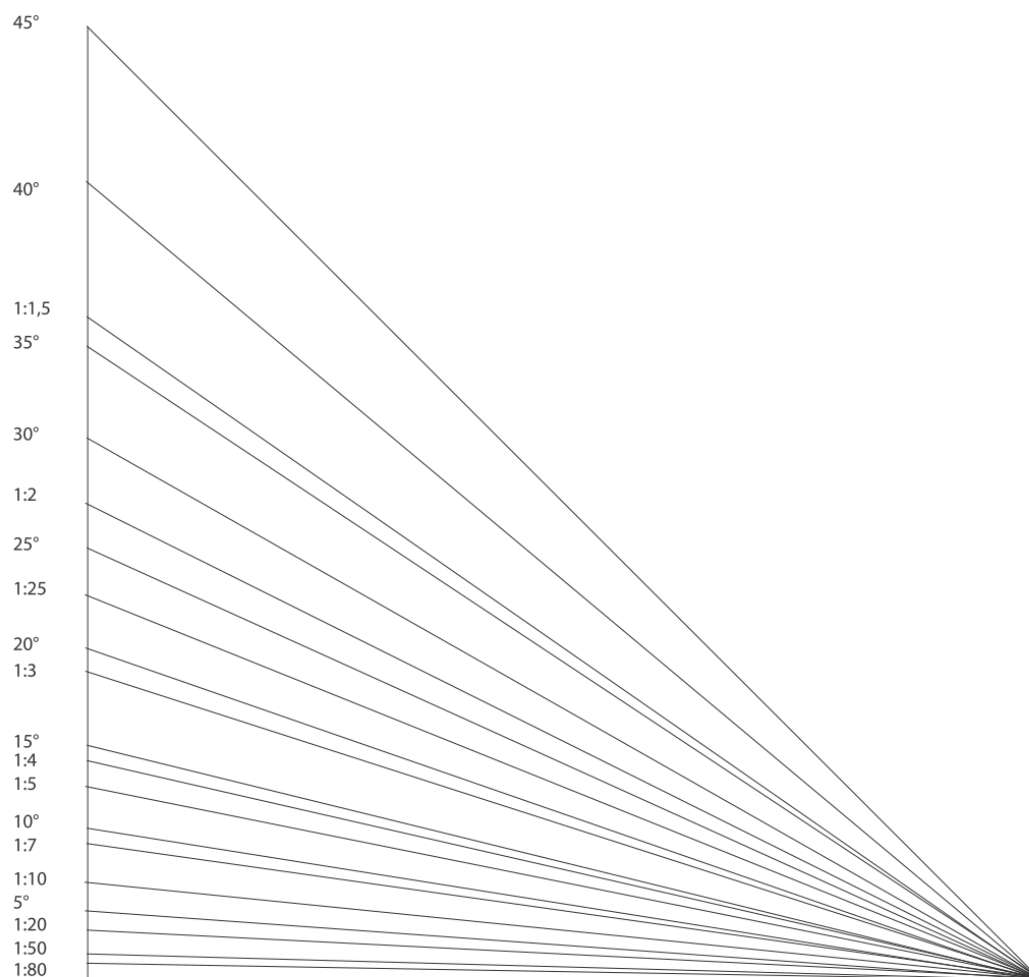
Katot, joiden kaltevuus on 1:10 tai vähemmän, voidaan luokitella loiviksi katoiksi. Jyrkkien kattojen kaltevuussuhde on suurempi kuin 1:10. Raja ei kuitenkaan ole niin selkeä: esimerkiksi Toimivat katot 2013 -julkaisussa jyrkkinä kattoina käsitellään kattoja, joiden kaltevuus on yli 1:20.

Katon kaltevuus kuvataan katon lappeen korkeuden suhtena lappeen vaakasuoraan projektioon. Kuvassa 3.16 on esimerkki katon lappeen kaltevuuden määrittelystä. Kuvan katon kaltevuus tai kaltevuussuhde on 1:3.



**Kuva 3.16.** Katon kaltevuuden määrittely (RT 85-11163 2014)

Erilaisia kattokaltevuuksia havainnollistetaan kuvassa 3.17.



**Kuva 3.17.** Kattokaltevuuksia havainnollistettuna (RT 85-11205 2016)

Katon kaltevuus vaikuttaa viherkaton vedenpoistoon, kasvualustan paksuuteen sekä sen paikallaan pysymiseen. RT 85-10709 (1999) -ohjekortissa katon vähimmäiskaltevuudeksi ilmoitetaan 1:80. Tämä on myös Toimivat katot 2013 -julkaisun suositus. Loivempia kattoja kuin 1:80 ei tulisi suunnitella. Taulukossa 3.12 on esitetty katon kaltevuuden vaikutus kattokasvillisuuteen.

**Taulukko 3.12.** Katon ja kannen kaltevuuden vaikutus kattokasvillisuuteen (RT 85-10709 1999)

<b>Katon kaltevuus</b>	<b>Kasvillisuustyyppi</b>
1:80 - 1:20	suositeltava kaltevuus, kasvit viihtyvät, hyvä vedenpoisto VIH1,VIH2 ja VIH3
1:50 - 1:3	veden virtauksen tehostuminen huomioitava salaoja- ja multakerroksessa, kasvillisuuden rakennekerrosten paikallaan pysyminen varmistettava VIH3
1:3 - 1:2	kattokasvillisuuden paikallaan pysymisen varmistettava mekaanisilla tuilla ja kiinnityksillä, vettä pidättävän kerroksen tarpeellisuus varmistettava VIH3
1:2 - 1:1	kattokasvillisuuden rakennekerrosten toimivuuteen ja paikallaan pysymiseen sekä vettä pidättävän kerroksen tarpeellisuuteen kiinnitettävä erityistä huomiota, kasvualusta tuettava mekaanisesti, sadeveden ja lumen rasitukset suuret VIH3

Rakenteelle, jonka päälle viherrakenne toteutetaan, sopivin kaltevuus on 1:20 - 1:50. Riittävä kaltevuus ehkäisee kasvualustan vettymistä ja helpottaa salaojituksen toimivuutta. Seisovassa vedessä useimmat kasvit eivät menesty. Viherkatto on mahdollista toteuttaa myös jyrkälle katolle, jonka kaltevuus on 1:10 tai jyrkempi. Jyrkän katon lappeet ovat paremmin näkyvissä ja ovat näkyvän julkisivun osa. Jyrkän katon suunnitelmassa pitää huomioida: kasvualustan liukuminen, leikkausvoimat ja eroosio. Liukumisen pitää estää valitsemalla rakennekerroksia, joilla on mahdollisimman suuri kitka toisiinsa nähden. Liukumisen estämiseksi kasvualustassa voidaan käyttää geovahvisteita, porrastamalla rakennetta tai käyttämällä esikasvatettuja kasvillisuusmattoja. (RT 85-11205 2016)

### 3.4 Vedeneristys

Kosteusteknisesti toimiva rakenne estää ja rajoittaa ylimääräisen kosteuden tunkeutumista rakenteeseen ja varmistaa rakenteen kuivumiskyvyn (Vinha 2011). Katon kestävyden kannalta hyvin suunniteltu ja rakennettu vedeneristys on erittäin tärkeää. Viherkattojen suunnittelussa, tavallisen katon suunnitteluun liittyvien asioiden lisäksi, pitää huomioida kasvien juuriston aiheuttamat riskit (RT 85-10709 1999).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet (1998) annetaan nimensä mukaan määräyksiä ja ohjeita kosteudesta johtuvien haittojen

ja vaurioiden välttämiseksi. Olennainen vaatimus on, että kosteus ei saa kertyä rakennuksen osiin aiheuttaen hygienia- tai terveysriskiä rakennuksen käyttäjille. Rakennuksen tulee säilyttää tällaiset ominaisuudet normaalilla kunnossapidolla koko kohtuullisen käyttöajan.

Rakentamismääräyskokoelman osassa C2 (1998) vesikaton rakenteille annetaan kolme kosteusteknistä määräystä:

1. ”Vesikaton on estettävä sadeveden, lumen ja sulamisveden tunkeutuminen kattorakenteisiin, seiniin ja sisätiloihin.”
2. ”Katto on suunniteltava ja rakennettava siten, että vesi poistuu katolta suunnitellulla tavalla rakennusta vahingoittamatta.”
3. ”Vesikatolla on oltava katteelle sopiva riittävä kaltevuus ja tiiviys veden poistojohtamiseksi. Katteen on kestävä ilmastorasitukset, lumen ja jään aiheuttamat rasitukset sekä huoltotoimenpiteiden vaatima liikkuminen katolla.”

Kosteus on syynä tai osatekijänä valtaosassa rakennusten vaurioita. Varmuus erilaisia kosteusrasituksia vastaan on hyvin tärkeää. Hyvin suunniteltu ja rakennettu vedeneristys on tärkein osa katon kestävyyskannalta. Kosteutta voi rakennuksen ulkopuolen lisäksi päästä rakenteisiin sisäilmasta. (Nieminen & Kouhia 1999)

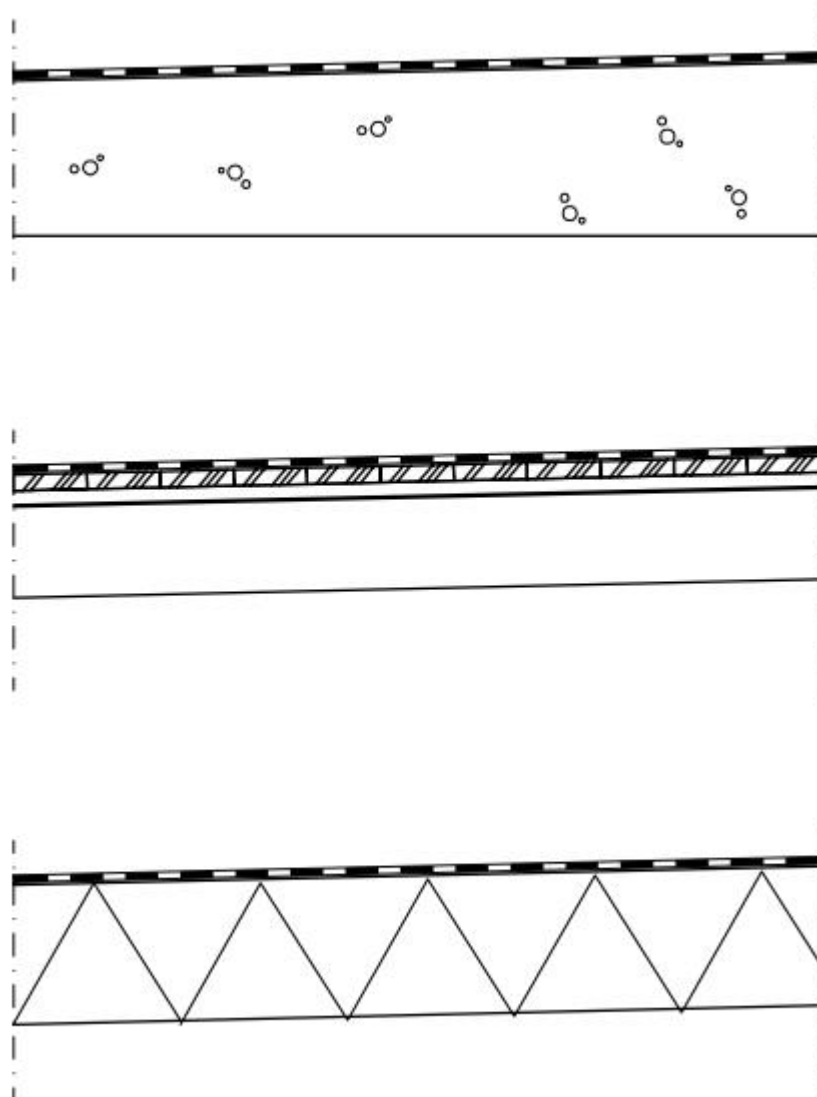
Viherkatot toteutetaan usein loivina käännettynä kattorakenteena. Käännettyissä rakenteissa vedeneristyskerros on lämmöneristyskerroksen alapuolella. Vedeneriste kiinnitetään yleensä suoraan kantavan betonirakenteen tai kantavan rakenteen päälle tehdyn kallistusvalun päälle. Käännettyssä katossa vedeneristys toimii myös höyryn- ja ilman-sulkuna lämmöneristuksen alla. Vedeneristys pitää kiinnittää kauttaaltaan alustaan lujasti. Yläpuolinen rasitus ja alustassa mahdollisesti olevan kosteuden höyrynpaine ei saa päästä irrottamaan vedeneristystä alustasta (RT 85-11205 2016).

Vedeneristyksen alusrakenteen pitää olla kiinteä ja tasainen. Alustan on oltava myös riittävän jäykkä, jotta katolle ei synny painaumia, jotka estävät veden poistumista tai vahingoittavat vedeneristettä. Yläpohjan rakennetyyppi määrittää vedeneristeen alustan. Alusrakenteena voi toimia:

- raakaponttilaudasta tehty lauta-alusta
- kosteutta kestävä ja homesuojattu rakennuslevy, kuten säänkestävästi liimattu vaneri
- betonilaatasto, paikalla valettu tai elementtirakenteinen
- kevytbetoni- tai kevytsorabetonirakenne

Kuvassa 3.18 esitetään erilaisia vedeneristyksen alusrakenteita.





**Kuva 3.18.** Vedeneristysten alusrakenteet: ylimpänä betonialusta, keskellä lauta- tai vanerialusta ja alimmaisena lämmöneristealusta.

RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet mukaan loiviin vesikattoihin ei suositella muita kuin kermieristysksiä. Viherkattoihin vedeneristys voidaan tehdä modifioituilla bitumikermeillä, polyuretaanielastomeerilla tai EPDM-kumikermeillä (RT 85-10709 1999). Nestemäistä polyuretaanielastomeerieristettä ei suositella käytettäväksi viherkatoilla (RT 85-11205 2016). Näiden käyttö on Suomessa jäänyt muutenkin hyvin vähäiseksi. EPDM-kumikermeille ei ole vastaavaa käyttöluokitusta kuin bitumikermeille (Toimivat katot 2013). Viherkaton vedeneristys kannattaa toteuttaa siis bitumikermien avulla ja muita tapoja käyttää vain erikoistapauksissa.

Bitumikermi luokitellaan tuoteluokkiin ja käyttöluokkiin. Tuoteluokka määrittää kermeille minimivaatimukset. Käyttöluokka määrittää käytettävän kermiyhdistelmän. Viherkatoilla kaikkien kermiratkaisujen pitää olla vähintään kaksikerroksisia, vaikka

kasvittomilla vesikatoilla on joissain tapauksissa hyväksyttävää käyttää yksikerroksisia kermikatteita. (Toimivat katot 2013)

Toimivat katot 2013 -ohjeessa katerakenteet jaotellaan kolmeen eri luokkaan katon minimikaltevuuden mukaan. Katon kaltevuus vaikuttaa valittavaan vedeneristysratkaisuun: mitä loivempi katto on, sitä suuremmat vaatimukset eristeelle asetetaan. Taulukossa 3.13 on esitetty ohjeen mukaiset bitumikermien käyttöluokat ja niillä käytettävät katerakenteet.

**Taulukko 3.13.** Bitumikermien käyttöluokkataulukko (Toimivat katot 2013)

<b>Katerakenne</b>	<b>VE40 (1:40)</b>	<b>VE80 (1:80)</b>	<b>VE80R (1:80)</b>
TL1	(x)		
TL3 + TL2	(x)		
TL2 + TL2	x	x	
TL2 + TL1	(x)	(x)	
TL2 + TL2 + TL2	(x)	(x)	x
TL2 + TL2 + TL1	(x)	(x)	(x)

x = suositeltava katerakenne

Taulukon 3.13 VE80R luokka on liikennöityjä tai myöhemmin vaikeasti korjattavia pihatasoja varten. Jyrkillä ja loivilla viherkatoilla käytetään vastaavia katerakenteita. Viherkattoja koskevassa RT 85-11205 (2016) -ohjekortissa on esitetty viherkatoilla käytettävien bitumikermien käyttöluokat vastaavasti katon kaltevuuden mukaan ja ne esitetään taulukossa 3.14

**Taulukko 3.14.** Bitumikermien käyttöluokat ja suositeltavat kaltevuudet viherkatoilla (RT 85-11205 2016)

<b>Katerakenne</b>	<b>VIHVE 10</b>	<b>VIHVE 20</b>	<b>VIHVE 80</b>
TL2 + TL2	x		
TL3 + TL1	x		
TL2 + TL2 + TL2	(x)	x	x
TL2 + TL2 + TL1	(x)	x	x

x = suositeltava katerakenne

Taulukon 3.14 mukaan jyrkille, 1:10 kalteville, viherkatoille riittää kaksikermieristys. Loiville katoille suositellaan kolmikermieristystä. Monikerroskermiratkaisut ovat turvallisempia kuin yksikerrosratkaisu, koska ne antavat anteeksi yksittäisiä työvirheitä sekä pienentävät myöhemmin ilmenevän vuodon riskiä (RT 85-11205 2016).

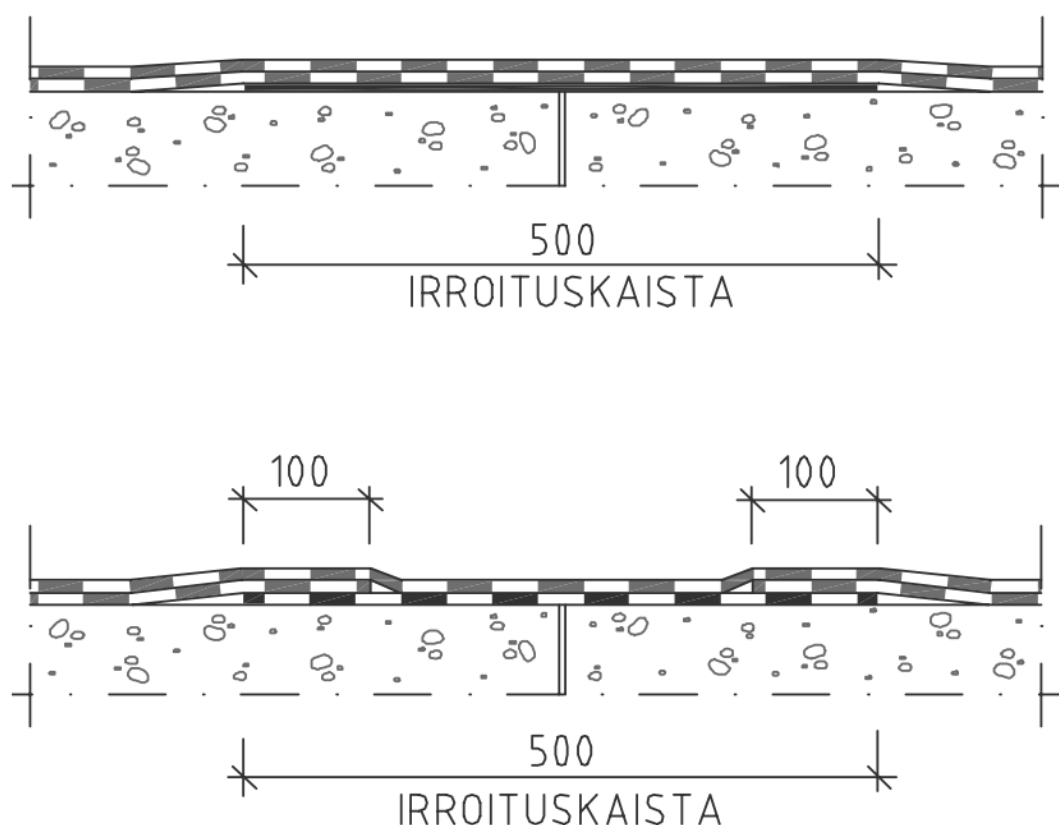
Taulukoissa 3.13 ja 3.14 katerakennesarakkeiden alla mainitut TL1, TL2 ja TL3 ovat bitumikermien eri tuoteluokkia. TL1-luokan kermeillä on muita luokkia suurempi lujuus- ja stabiiliteettivaatimus. TL3-luokan kermejä voidaan käyttää vain aluskermeinä

tyrkissä viherkatoissa. Taulukossa 3.15 esitetään modifioitujen bitumikermien tuoteluokkavaatimukset.

**Taulukko 3.15. Modifioitujen bitumikermien tuoteluokkavaatimukset (Toimivat katot 2013)**

	Tutkimus menetelmä	Vaatimus	Yksikkö	Tuoteluokka		
				TL1 <sup>1)</sup>	TL 2	TL 3 <sup>9)</sup>
Vetolujuus, 23 °C; pit.s./poikkis.	EN 12311-1	min	N/50 mm	800/600	600/400	400/300
Venymä, 23 °C; pit.s./poikkis.	EN 12311-1	min	%	15	25	20
Naulanvarren repäisylujuus; pit.s./poikkis.	EN 12310-1	min	N	300	150	130
Puhkaisulujuus <sup>6)</sup> dynaaminen (isku), +23 °C	EN 12691 B	min	mm	1000		
Sauman vetolujuus <sup>6)</sup>	EN 12317-1	min	N/50 mm	600		
Vesitiiveys <sup>7)</sup>	EN 1928 B	min	kPa	500	300	200
Siroteen kiinnipysyvyys <sup>8)</sup>	EN 12039	max	%	30	30	
Dimensio-stabiilitetti (pit.s.)	EN 1107	max/min	%	± 0,3	± 0,6	± 0,6
Lämmönkestävyys	EN 1110	min	°C	80	80	80
Taivutettavuus liimattava kermi, pinta ja pohja hitsattava kermi, pinta hitsattava kermi, pohja	EN 1109	max/max	°C/Ø mm °C/Ø mm °C/Ø mm	-25/30 -20/30 -10/30	-25/30 -20/30 -10/30	-20/30 -20/30 -10/30
Pitkäaikaiskestävyys <sup>4) 8)</sup> lämmönkestävyys (vanhennuksen jälk.) taivutettavuus (vanhennuksen jälk.) liimattava kermi, pinta ja pohja hitsattava kermi, pinta hitsattava kermi, pohja	EN 1296 (EN 1110) (EN 1109)	– min max/max	°C °C/mm	80 -15/30 -10/30 -0/30	80 -15/30 -10/30 -0/30	80 -10/30 -10/30 +0/30
Nimellispaino <sup>2) 5)</sup> liimattava pintakermi hitsattava pintakermi liimattava aluskermi hitsattava aluskermi	EN 1849-1	nimell.	g/m <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	4500 5500 3500 4500	4000 5000 3000 4000	---- <sup>9)</sup> ---- <sup>9)</sup> 2200 3200
Mitat pituus ja leveys <sup>3)</sup> suoruus	EN 1848-1	ilm. max	mm mm/10m	ilm. 20	ilm. 20	ilm. 20

Rakenteellisen liikuntasauaman kohdalla pitää myös vedeneristyskerrokseen lisätä liikkeen salliva kaista. Kumibitumikermeillä liikuntasauama voidaan tehdä jättämällä vedeneristys sauman kohdalta irti alustasta irrotuskaistan avulla. Irrotuskaistan suositeltava vähimmäisleveys on 500 mm. Liikuntasauaman kohdalla pitää aina käyttää modifioitua hitsaus- tai liimausbitumia. Kuvassa 3.19 on näytetty Toimivat katot 2013-ohjeessa esitetyt periaatekuvat vedeneristykseen tehtäviin liikuntasaumoihin.



**Kuva 3.19.** Vedeneristysten liikuntasärmä (Toimivat katot 2013)

Viherkatoissa katteiden tulee olla jatkuvia ja vedeneristeen saumojen pitää kestää vedenpainetta (RT 85-11205 2016). RunkoRYL 2010 mukaan vedeneristysten vedenpitävyys pitää tarkistaa vedenpainekokeella, jos suunnitelma-asiakirjoissa on niin määrätty. Ohje on, että vedenpainekoetta käytetään kalliissa ja vaikeasti korjattavissa kohteissa, kuten käännytyissä rakenteissa tai pihamailla. Viherkattorakenteissa kokeen tekeminen on siis perusteltua. Vedenpainekokeessa katon vedenpoistoreitit, kuten kattokaivot, tukitaan väliaikaisesti. Vedeneristeen päälle lasketaan 100 - 300 mm vettä, jonka annetaan vaikuttaa eristykseen 12 h - 3 vrk. Kokeen aikana alapuolisten rakenteiden mahdollista kostumista seurataan erityisesti liittymärakenteiden läheisyydessä. Kokeen jälkeen vedeneristettä ei saa rasittaa mekaanisesti ennen kuin lopulliset pintakerrokset tai muut suojaavat rakenteet on asennettu. (RIL 107-2012)

### 3.4.1 Vedeneristysten suojaus

Kasvien juurien tunkeutuminen vedeneristysten läpi täytyy estää. Juurisuojaus on tehtävä on estää kasvien juuria vahingoittamasta vedeneristettä ja näin varmistaa viherkaton vedenpitävyys katon käyttöajan ajan. Juurisuojaus myös lisää viherkattorakenteen muuntojoustavuutta. Sillä voidaan mahdollistaa muutokset katon kasvillisuudessa (RT 85-11205 2016). Vedeneristeen kestävyys kasvien juuria vastaan tulee varmistaa kaikilla viherkattotyypeillä (Rakentajain kalenteri 2000). Hyvä yleisohje kaikkien viherkatto-

tyyppien kasvivalintaan, on välttää kasveja, joilla on voimakkaat juuret tai juuristot. Näin pienennetään riskiä kasvien juurien tunkeutumiselta vedeneristeen läpi (RIL 107-2012).

Kaikissa viherkattotyypeissä tulee käyttää vedeneristettä, joka on juurisuojattu. Vedeneristeen päälle voidaan asentaa erillinen juurisuojakerros (Toimivat katot 2013). Toinen vaihtoehto on käyttää juurisuojattua vedeneristyskermiä. Juurisuojatun vedeneristyskermin pitää täyttää myös käytetyn tuoteluokan muut vaatimukset, jos se on huomioitu muuhun katerakenteeseen kuuluvavana vedeneristyskerminä. Se voidaan asentaa myös ylimääräisenä juurisuojakerminä varsinaisen vedeneristysten päälle. Loivilla viherkatoilla vedeneristys pitää toteuttaa aina kolminkertaisella kermieristyksellä, jonka päälle juurisuojaksi testattu tuote asennetaan. Vedeneristeen päällä oleva suojakerros voi olla juurisuojattu bitumikermi, peittävä levy, kuten sokkelilevy, tai nestemäisenä siveltävä pinnoitus (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002).

Katolle istutetun kasvillisuuden tai katolle itsekseen levinneen kasvillisuuden juuret voivat ulottua katolla muillekin kuin viheralueille, esimerkiksi kulkuväylille. Myös näillä alueilla vedeneriste pitää suojata juurten tunkeutumista vastaan. (RT 85-11205 2016)

Juurisuojattujen vedeneristeiden testaukseen on olemassa EN-standardi 13948 (2007) (Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Determination of resistance to root penetration), jonka mukaan tuotteen juurien tunkeutuman esto voidaan todeta riittäväksi. Testin mukaan testattuja juurisuojattuja bitumikermejä on saatavilla Suomessa.

FLL:n viherkatto-ohjeessa huomautetaan, että käytettäessä kasveja, joilla on voimakas juurakkokasvu, juurisuojauksen toimivuus pitää varmistaa vielä erillisellä suojakerroksella (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002). RT 85-10709 (1999) -ohjekortissa suositellaankin mekaanisen suojakerroksen, kuten teräsbetonilaatan tai kumimaton, asennusta vedeneristysten päälle aina. Yksittäinen puu tai pensas voidaan istuttaa erilliseen kaukaloon tai altaaseen, joka toimii rakenteellisena juurisuojana. Altaan materiaali voi olla esimerkiksi betonia, ruostumatonta terästä tai pakkasenkestävää muovia (RT 85-11205 2016).

Yhdysvaltalaisen Kansallisten kattourakoitsijoiden yhdistyksen (NRCA) viherkatto-ohjeen mukaan vedeneristyskerroksen päälle pitäisi asentaa juurisuojan lisäksi toinen mekaaninen suojakerros. Tällä kerroksella varmistetaan vedeneristeen ehjänä pysyminen katon rakennustöiden aikana (Bechtel et al. 2007). Kerros voitaisiin asentaa esimerkiksi vedenpaineokeen jälkeen suojaamaan vedeneristeitä ennen muiden katon rakennekerrosten asennusta.

Oikein tehtynä viherkatossa vedeneristeet ovat suojassa mekaanisilta rasituksilta ja auringon UV-säteilyltä. Lämpötilamuutosten aiheuttamat rasitukset ovat myös pienemmät viherrakenteen alla (Snodgrass & McIntyre 2010). Näin on tietysti myös tavallisessa käännetyssä katossa, jossa vedeneriste on lämmöneristeiden alapuolella. Vedeneristeen yläpuolisilta kerroksilta saatu suoja vaikuttaa vedeneristeen käyttöikänsä. Virolaisessa tutkimuksessa (Teemusk & Mander 2009) mitattiin lämpötilaa viherkaton kasvu-

kerroksen alla vuoden ajan. Mittaustuloksia verrattiin bitumikermikaton pinnan lämpötiloihin. Tutkimuksessa todetaan, että 100 mm kasvukerroksen alla vedeneristeen pinta-lämpötilavaihtelut aurinkoisena kesäpäivänä ovat huomattavasti pienemmät kuin vertailussa olleen bitumikermikaton. Talvella lämpötila viherkaton kasvukerroksen alla ja lämpötila vertailukaton pinnalla, lumikerroksen alla, vastasivat toisiaan.

Viherkaton rakennekerroksilla voi siis joissain tapauksissa olla parantava vaikutus vedeneristeen käyttöikään. Ruotsalaisessa julkaisussa arvioidaan, että lämpötilavaihtelun pienennyksellä katon vedeneristeele voidaan saavuttaa jopa 10 - 30 % pidempi käyttöikä (Björk 2004). Tässä on oletettu, että suurin osa vedeneristeen turmeltumisesta aiheutuu sen lämpötilavaihteluista ja mikään muu tekijä ei rasita vedeneristettä sen käyttökäinä. Viherkaton rakentamisesta ja huollosta aiheutuu kuitenkin enemmän kustannuksia kuin tavallisesta katosta (Nurmi et al. 2013), joten kustannussäästön vuoksi viherkattoa ei kannata rakentaa.

### 3.5 Lämmöneristys

Lämpötekniisesti toimiva ylläpitää sisätilojen hyviä lämpöolosuhteita (Vinha 2011). Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 (2012) antaa kaikkia uusia rakennuksia, joiden lämmitykseen käytetään energiaa, koskevia velvoittavia määräyksiä.

Suunniteltaessa rakennuksen lämmöneristystä, tulee kiinnittää huomiota rakennusosien oikeaan kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan. Rakennuksen vaippaan kuuluvien seinien, yläpohja tai alapohjan lämmönläpäisykertoimet eivät saa olla yli 0,60 W/m<sup>2</sup>K. Rakennuksen lämpöhäviö lasketaan kokonaisuutena, jota verrataan rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) ilmoitettujen rakennuksen vaipanosien lämmönläpäisykertoimien ja rakennuksen ikkunapinta-alan vertailuarvojen avulla laskettuun rakennuksen vaipan lämpöhäviöön.

Yläpohjan lämmönläpäisykerroin, U, vertailuarvot on esitetty rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) kohdassa 2.5.4 ja ne näkyvät taulukossa 3.16:

**Taulukko 3.16.** Yläpohjan lämmönläpäisykerroimen vertailuarvot (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012)

<i>Tila</i>	<i>Yläpohjan lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo</i>
Lämmin, erityisen lämmin tai jäähdytetty kylmä tila	0,09 W/m <sup>2</sup> K
Puolilämmin tila	0,14 W/m <sup>2</sup> K

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin U voidaan RakMK osan C4 luonnoksen (2012) mukaan laskea kaavalla 3.14:

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (3.14)$$

jossa  $R_T$  on rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ].

Rakennusosan kokonaislämmönvastus  $R_T$  voidaan laskea kaavalla 3.15, jos lämpö siirtyy kohtisuoraan rakennusosan tasapaksuisia ja tasa-aineisia aine-kerroksia vastaan.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \quad (3.15)$$

jossa  $R_{si}$  on sisäpuolinen pintavastus,  $R_1, \dots, R_n$  ovat ainekerrosten 1,2,...,n lämmönvastukset ja  $R_{se}$  on ulkopuolinen pintavastus.

Lämmön siirtyessä kohtisuoraan tasapaksun ja tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kerroksen lämmönvastuksen laskentaan voi käyttää kaavaa 3.16:

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (3.16)$$

jossa  $d$  on ainekerroksen paksuus [m] ja  $\lambda$  on ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo [ $\text{W/(mK)}$ ].

Rakennuksen lämpöhäviöiden laskennassa käytetään rakenneosan lopullista  $U$ -arvoa, korjattua lämmönläpäisykerrointa  $U_c$ , joka voidaan laskea kaavalla 3.17:

$$U_c = U + \Delta U, \quad (3.17)$$

jossa  $U$  [ $\text{W/(m}^2\text{K)}$ ] on rakennusosan lämmönläpäisykerroin ja  $\Delta U$  on lämmönläpäisykerroimen korjaustermi [ $\text{W/(m}^2\text{K)}$ ].

### 3.5.1 Lämmöneristemateriaalit

Erilaisia katoilla käytettäviä lämmöneristeitä ovat:

- mineraalivilla (MW)
- paisutettu polystyreeni (EPS)
- suulakepuristettu polystyreeni (XPS)
- polyuretaani (PUR/PIR)
- solulasi (CG)
- kevytsora

#### *Mineraalivillaeristeet*

Mineraalivillaeristeet ovat orgaanisesta sideaineesta ja epäorgaanisista kuiduista muodostuvia lämmöneristeitä. Yleisimpiä mineraalivilloja ovat kivi- ja lasivillat. Kivivilla valmistetaan emäksisistä kivilajeista ja lasivilla kvartsihiekestä, soodasta ja kalkkikivestä. Lasivillan raaka-aineista 50-60 % on kierrätyslasia. Vesikattorakenteissa voidaan käyttää kuormitusta kestäviä, jäykkiä eristyslevyjä lämmön-, palon- ja ääneneristeinä. Yläpohjan lämmöneristämiseen voidaan käyttää puhallettavaa mineraalivillaeristettä. (RT 36-10689 1999)

#### *EPS-eristeet*

EPS-eristeet ovat polystyreenistä valmistettuja lämmöneristeitä. EPS-eristeitä käytetään rakennuseristeinä muun muassa loivilla katoilla. Eriste valmistetaan kestopuovia olevasta polystyreenista vesihöyryn avulla paisuttamalla. Katoilla käytettävät kattoeristeet jaetaan puristuslujuuden mukaan: EPS 60S Katto, EPS 80S Katto, EPS 100S Katto. Lukuarvot kuvaavat eristeiden lyhytaikaista puristuslujuutta kilopascaleina (kPa). (RT 36-11113 2013)

### *XPS-eristeet*

XPS-eristeet ovat suulakepuristamalla polystyreenistä valmistettuja lämmöneristeitä. XPS-eristeet valmistetaan sekoittamalla ponneaine korkeassa paineessa sulaan polystyreeniin ja puristamalla se suuttimen läpi muottiin. XPS-eristeitä käytetään rakenteissa, jotka ovat alttiina kosteudelle tai suurelle kuormitukselle. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi piha-alueet, liikennöidyt tasot, kattoterassit ja käännetyt katot. (RT 36-11102 2012)

### *Solulasieristyslevy*

Solulasiset rakennuseristeet valmistetaan kierrätyslasista sekä raakalasista ja hiili-jauheesta valmistetusta lasimassasta, joka paisutetaan korkeassa lämpötilassa (RT 38539 2014). Solulasin käyttö on vähäistä Suomessa. Solulasia voidaan käyttää, kun lämmöneristeeltä vaaditaan korkeaa puristuslujuutta ja hyvää lämmöneristävyyttä. Muuta solulasin hyviä ominaisuuksia ovat vesitiiviys, höyrytiiviys, muodon pysyvyys, palamattomuus ja happojen kestävyys. (RIL 107-2012)

### *Kevytsora*

Kevytsora valmistetaan plastista savea paisuttamalla. Kevytsoraa voidaan käyttää loivien kattojen lämmöneristeinä ja se onkin kerrostalojen yläpohjissa hyvin yleisesti käytetty lämmöneristemateriaali (RTK-36951 2005). Kevytsoraa on käytetty myös pihakansien käännettyjen rakenteiden lämmöneristekerroksina (RT 85-10729 2000).

Viherkatolle soveltuvaan lämmöneristeen valintaan vaikuttaa kattorakenteen tyyppi, katolle sijoitettava kasvillisuus ja sen vaatimien rakennekerrosten paino. Viherkattorakenteissa, joissa katon viherosa kuormittaa lämmöneristekerrosta, lämmöneristekerroksen pitää kestää viherosan paino. Eristemateriaalin pitkäaikainen kuormituskestävyys ja siitä johtuva muodonmuutos pitää olla tiedossa, jotta voidaan arvioida eristemateriaalin soveltuvuutta viherkerrosten alle. Kattorakenteissa, joissa viherosan ja lämmöneristeen väliin jää esimerkiksi tuuletustila, viherkatto ei aseta lisävaatimuksia lämmöneristemateriaalille. Käännetyissä katoissa vedeneriste on lämmöneristeen lämpimällä puolella. Vedeneristeen päällä käytettävien eristyslevyjen on oltava tähän tarkoitukseen valmistettuja puolipontattuja levyjä. Käännetyssä rakenteessa lämmöneristeen vedenimukyvyn tulee olla alhainen ja sen puristuslujuus täytyy olla riittävä katon kuormille. Eriste pitää valita niin, että se kestää kosteutta, vedenpainetta, mekaanista rasitusta ja jäätymistä. Lämmöneristeominaisuudet eivät saa oleellisesti muuttua vaikka eristemateriaali olisi kastunut. (RIL 107-2012, Toimivat katot 2013)

Taulukossa 3.17 esitetään eri lämmöneristemateriaalien ominaisuuksia.



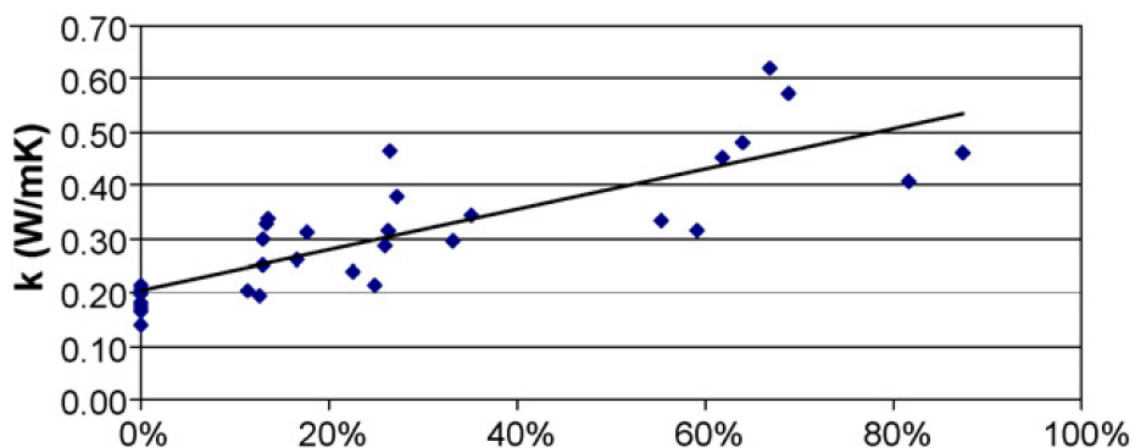
**Taulukko 3.17.** Lämmöneristemateriaalien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot ja pitkäaikainen puristuslujuus

<i>Materiaali</i>	<i>Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo [W/mK]</i>	<i>Pitkäaikainen puristuslujuus [kPa]</i>
Mineraalivilla	0,05	-
EPS	0,031...0,036	20...90
XPS	0,030...0,041	80...300
PIR	0,023	≥100
Solulasi	0,05	400-900
Kevytsora	0,1	200

Taulukon 3.17 arvot on kerätty RT-ohjekorteista ja valmistajien tuote-esitteistä. (RT 36-11102 2012, Leca-kevytsorakatot, suunnitteluohjeet 2010, RT 36-10689 1999, RT 36-11113 2013, RT 38539 2014, SPU Kattosuunnitteluohje 2012)

### 3.5.2 Viherosan lämmöneristävyys

Viherkaton viherosan lämmöneristävyysominaisuuksia on tutkittu monissa tutkimuksissa. Tutkimuksissa todetaan, että viherkatto vähentää yläpohjan läpi kulkevaa lämpövirtaa. Viherkerrosten vaikutus on sitä suurempi, mitä huonompi on muun kattorakenteen lämmöneristävyys. Viherkaton lämmöneristysominaisuuksiin vaikuttaa kasvualustan materiaali, paksuus ja sen kosteuspitoisuus. Kosteuspitoisuuden vaikutus viherkaton kasvualustan lämmönjohtavuuteen esitetään kuvassa 3.20. (Liu & Baskaran 2005, Mingjie & Srebric 2012, Bass & Baskaran 2003, Niachou et al. 2001, Sailor et al. 2008)



**Kuva 3.20.** Yhdysvalloissa yleisesti käytettyjen viherkattokasvualustojen kosteuspitoisuus tilavuusprosentteina ja kosteuspitoisuuden vaikutus kasvualustan lämmönjohtavuuteen (Sailor et al. 2008)

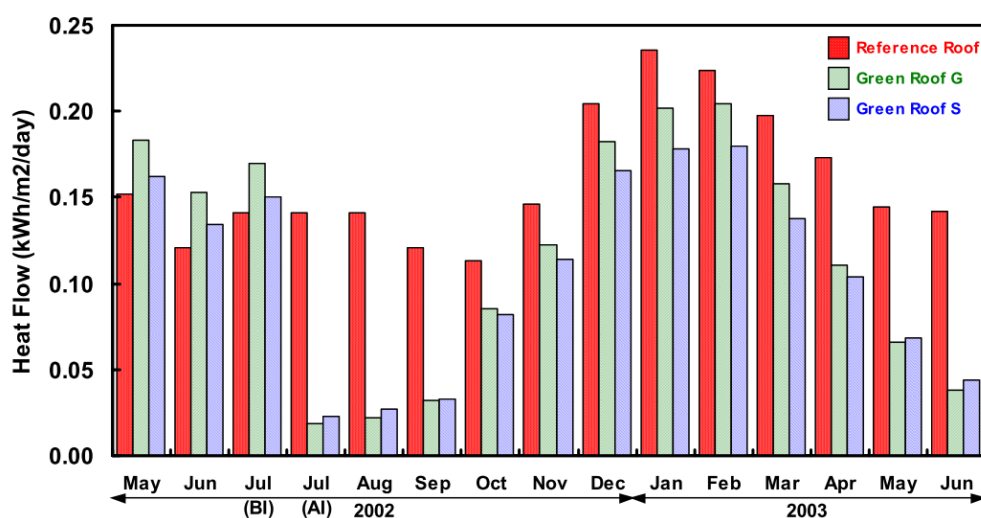
Kuvassa 3.20 on esitetty mittaustulokset ja niitä kuvaava suora kosteuden vaikutuksesta Yhdysvalloissa yleisesti käytettyjen viherkaton kasvualustoiden lämmönjohtavuuteen.

teen. Kasvualustassa käytetyt materiaalit olivat hohkakiveä tai kevytsoraa, johon oli sekoitettu hiekkaa ja orgaanisia aineksia. Kuvasta nähdään, että kasvualustan lämmönjohtavuus lähes kolminkertaistuu, kun sen kosteuspitoisuus kasvaa täysin kuivasta lähes kyllästymispisteeseen.

Kasvualustan lämmöneristävyyden vaikutus hyvin eristetyn katon U-arvoon on pieni. Esimerkiksi 200 mm paksun kasvualustan lämmönvastus kuvasta 3.20 tulkitulla arvolla on kuivana noin  $1 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja lähes kyllästymispisteessä noin  $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Katolla oleva lumikerros ja jäänyt kasvualusta pudottavat eron lämmöneristävyydessä tavalliseen kattoon hyvin pieneksi. Jäätyessään kasvualustan lämmöneristysominaisuudet häviävät, jolloin viherkatolla tai vastaavalla katolla ilman viherkerroksia ei ole eroa lämmöneristävyysominaisuuksissa. (Bass & Baskaran 2003)

Kesällä viherosa katon päällä vähentää katon läpi kulkevaa lämpövirtaa lisäämällä katon lämmöneristävyyttä ja lämpökapasiteettia. Veden haihtuminen kasvukerroksesta ja kasvillisuuden varjostus alentavat kattopinnan lämpötilaa. Huonosti eristetyillä katoilla viherkerrokset katon päällä vähentävät lämpövirtaa huomattavasti rakennuksen jäähdytyskaudella. (Bass & Baskaran 2003, Niachou et al. 2001) Kuvassa 3.21 on kaavio kanadalaisesta Torontossa tehdystä tutkimuksesta, jossa arvioitiin ekstensiivisen viherkaton vaikutusta katon lämmöneristävyyteen.



**Kuva 3.21.** Keskimääräisen päivittäisen lämpövirran tiheyden vertailu viherkattojen ja referenssikaton läpi kuukausittain (Liu & Baskaran 2005)

Kuvaan 3.21 on merkitty punaisella viherkattoihin vertailtu katto. Kaksi erilaista viherkattoja on asennettu tutkittavalle katolle heinäkuussa 2002. Tutkimuksen mittauksissa viherkatto vähensi lämpövirtaa katon läpi kesällä 70 - 90 %. Talvella lämpövirran vähennys oli 10 - 30 %. Tutkimuksessa kattojen rakennetyypit esiteltiin, mutta niiden ominaisuuksia ei kuitenkaan kerrottu. Lämpövirran tiheyden keskiarvo ilmoitettiin tutkimuksessa yksiköllä  $\text{kWh/m}^2/24\text{h}$ . Esimerkiksi tammikuussa sen arvo oli noin  $0,24 \text{ kWh/m}^2/24\text{h}$ . Lämpövirran tiheys voidaan laskea kaavalla (Vinha 2011):

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R}, \quad (3.18)$$

jossa

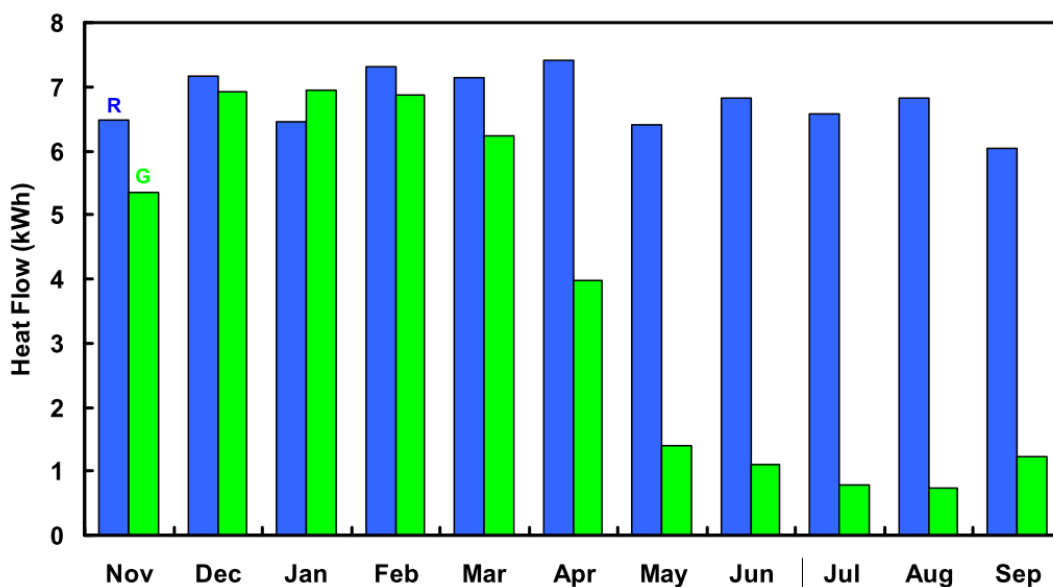
$T_1$  on lämpötila rakenteen lämpimällä puolella [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_2$  on lämpötila rakenteen kylmällä puolella [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$R$  on rakenteen lämmönvastus [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ].

Kaavasta 3.18 nähdään, että lämpövirran tiheyden yksikkö on  $\text{W/m}^2$ . Tutkimuksen referenssikaton lämmönvastusta voidaan karkeasti arvioida olettamalla, että ulkolämpötila vastasi Toronton keskilämpötilaa tammikuussa ja sisälämpötila on noin  $20^{\circ}\text{C}$ . Toronton keskilämpötila tammikuussa on  $-3,7^{\circ}\text{C}$  (Canadian Climate Normals 1981-2010 Station Data 2014). Näillä oletamuksilla kaavasta 3.18 johtaen katon lämmönvastukseksi saadaan  $2,37 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja  $U$ -arvoksi kaavalla 3.14  $0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Toisessa kanadalaisessa tutkimuksessa (Bass & Baskaran 2003) verrattiin myös ekstensiivisen viherkaton vaikutusta kattorakenteen läpi kulkevaan lämpövirtaan. Vertailtavan katon  $U$ -arvo oli noin  $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Tutkittava viherkatto asennettiin kattorakenteen päälle. Rakennuksen sisälämpötila pidettiin vakiona lämpöpumpun avulla ja lämpövirran tiheyttä kummankin kattorakenteen läpi mitattiin. Mittaukset tehtiin Ottawassa, jossa keskimääräiset lämpötilat poikkeavat hieman Suomen oloista: talvikuukausien keskilämpötilat ovat Suomen vastaavia matalammat ja kesäkuukausien lämpötilat korkeammat. Koko vuoden keskilämpötila hieman korkeampi kuin Suomessa (Kaukoranta et al. 2012, Canadian Climate Normals 1981-2010 Station Data 2014). Tutkimuksen mittaus-  
tulokset näkyvät kuvassa 3.22.



**Kuva 3.22.** Kattorakenteiden läpi kulkevan lämpövirran aiheuttama rakennuksen päivittäinen energiantarve kuukausittain tutkimuksen referenssikaton ja viherkatolla (Bass & Baskaran 2003)

Kuvassa 3.22 esitetään keskiarvot katon läpi kulkevan lämpövirran vaikutus tutkitavan rakennuksen päivittäiseen lämmitys- tai jäähdytysenergian tarpeeseen kuukausittain. Vertailukatto on merkitty sinisellä ja viherkatto vihreällä.

Huonosti eristetyillä katoilla viherkerrokset katon päällä vähentävät lämpövirtaa katon läpi huomattavasti rakennuksen jäähdytyskaudella. Toisaalta sama vaikutus olisi minkä tahansa muun lämmöneristekerroksen lisäyksellä. Valmiiksi hyvin eristetyllä katolla viherkerrosten vaikutus jää pieneksi. (Bass & Baskaran 2003, Niachou et al. 2001)

Viherkaton viherosan vaihtelevista ominaisuuksista johtuen voidaan siis todeta, että viherkattorakenteen U-arvon laskennassa kattoa pitää tarkastella ilman viherkerroksia eikä katon viherosan vaikutusta voida huomioida. Viherkerrosten lisäyksellä ei myöskään saavuteta merkittävää hyötyä energiansäästöön, jos kattorakenne on hyvin eristetty. Huonosti eristetyllä katolla viherkerroksista on hyötyä kasvualustan lämmöneristysominaisuuksien ja kasvillisuuden viilentävien vaikutusten vuoksi. Talvikuukausina hyöty kuitenkin häviää.

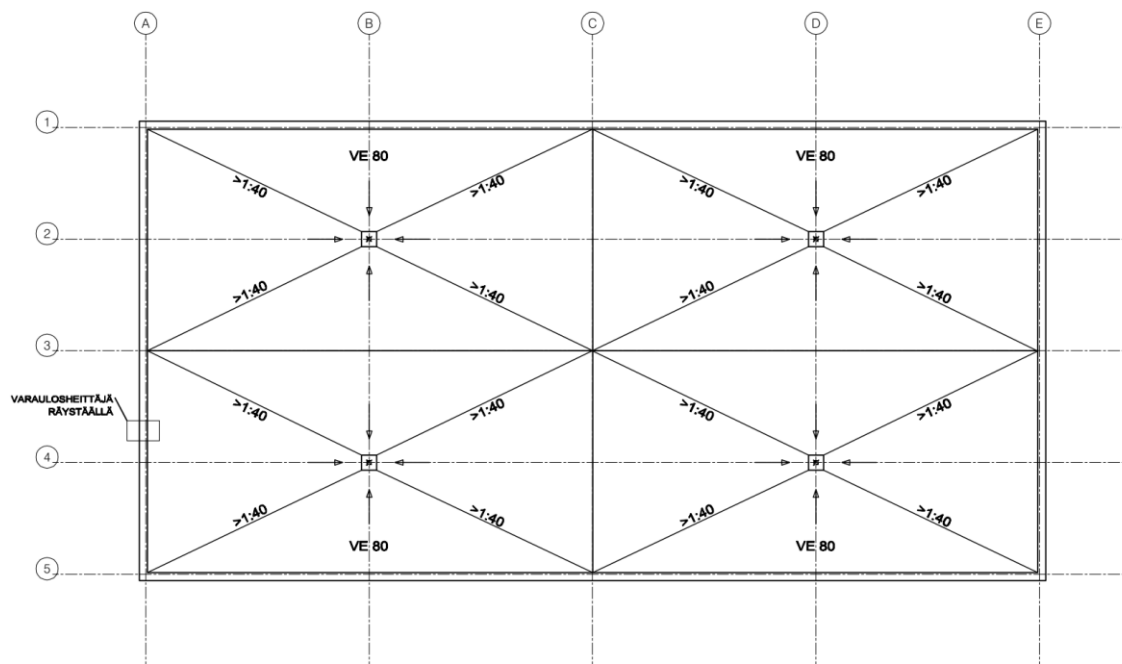
### 3.6 Vedenpoisto

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C2 (1998) mukaan katto on suunniteltava ja rakennettava niin, että vesi poistuu katolta suunnitellulla tavalla rakennusta vahingoittamatta. Veden poistamiseen katolta voidaan käyttää kattokaivoja tai räystäskouruja ja syöksytorvia. Käytettäessä kattokaivoja pitää rakennuksessa olla kutakin vedenpoiston kannalta itsenäistä katon osa-aluetta kohti vähintään yksi kattokaivo. Kattokaivot ja niistä lähtevät poistoviemärit pitää eristää ja suunnitella niin, että vettä ei tiivisty haitallisesti eikä jäädy niiden pintoihin. Kaivojen tulee olla myös helposti puhdistettavia.

Viherkattojen yksi ongelma Suomessa on pitkä talvi: rakenne jäätyy kauttaaltaan ja keväällä sulamisvesien poistuminen on hidasta, kun veden kulkureitit ovat vielä jäässä. Jää voi vaurioittaa myös kasvien juuria, joten vedenpoiston pitäisi toimia mahdollisimman tehokkaasti syksyisin ennen pakkasia. Toisaalta jäätymisriskin takia liian nopea vedenpoisto ja ohuet rakennekerrokset voivat aiheuttaa ongelmia kesän kuivina kausina, jolloin kasvit voivat kuivua. (RIL 107-2012)

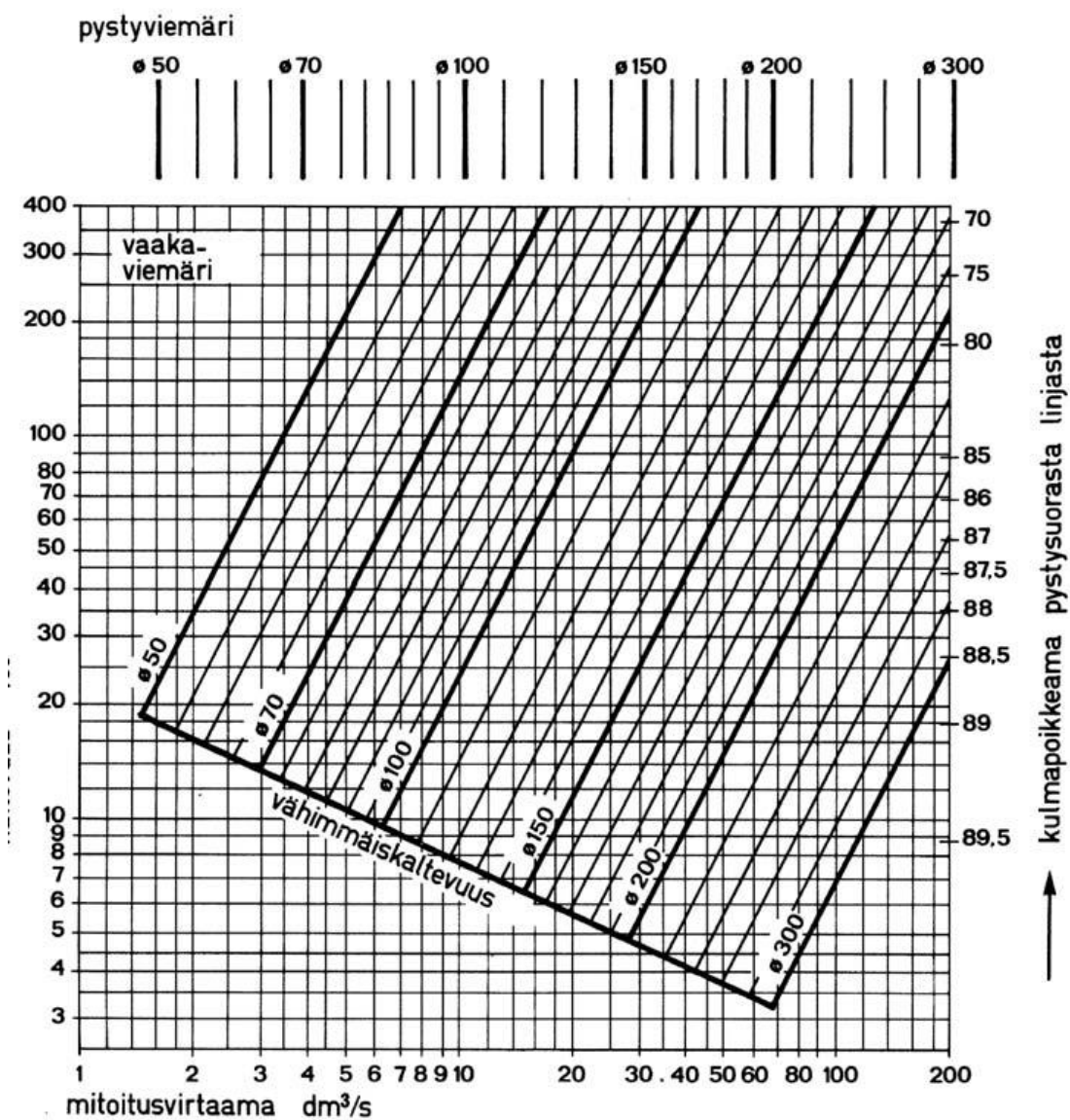
Loivilla katoilla katolle tuleva vesi ohjataan kallistuksilla kattokaivoihin ja niistä sadevesijärjestelmän kautta viemäriin. Kattoliiton Toimivat katot 2013 -oppaan mukaan kattokaivoja sijoitetaan katolle niin, että pisin valumamatka kaivoon on enintään 15 metriä. Veden pitää päästä kulkeutumaan kaivoihin esteettömästi. Kaivojen tarvittavaksi määräksi voidaan arvioida 1 kpl / 150-200 m<sup>2</sup>, kun käytetään halkaisijaltaan 100 mm poistoputkia. (Toimivat katot 2013)

Kattokaivojen lisäksi jokaisella sisäpuolisella vedenpoistolla varustetulla katolla pitää olla vähintään yksi ulosheittäjä. Ulosheittäjän tehtävä on johtaa vesi katolta seinärakenteen ulkopuolelle, jos kattokaivo tukkeutuu. Ulosheittäjä sijoitetaan niin, että häiriötilanne havaitaan mahdollisimman nopeasti. (Toimivat katot 2013) Kuvassa 3.23 esitetään esimerkki kattokaivojen sijoituksesta vesikatolla.

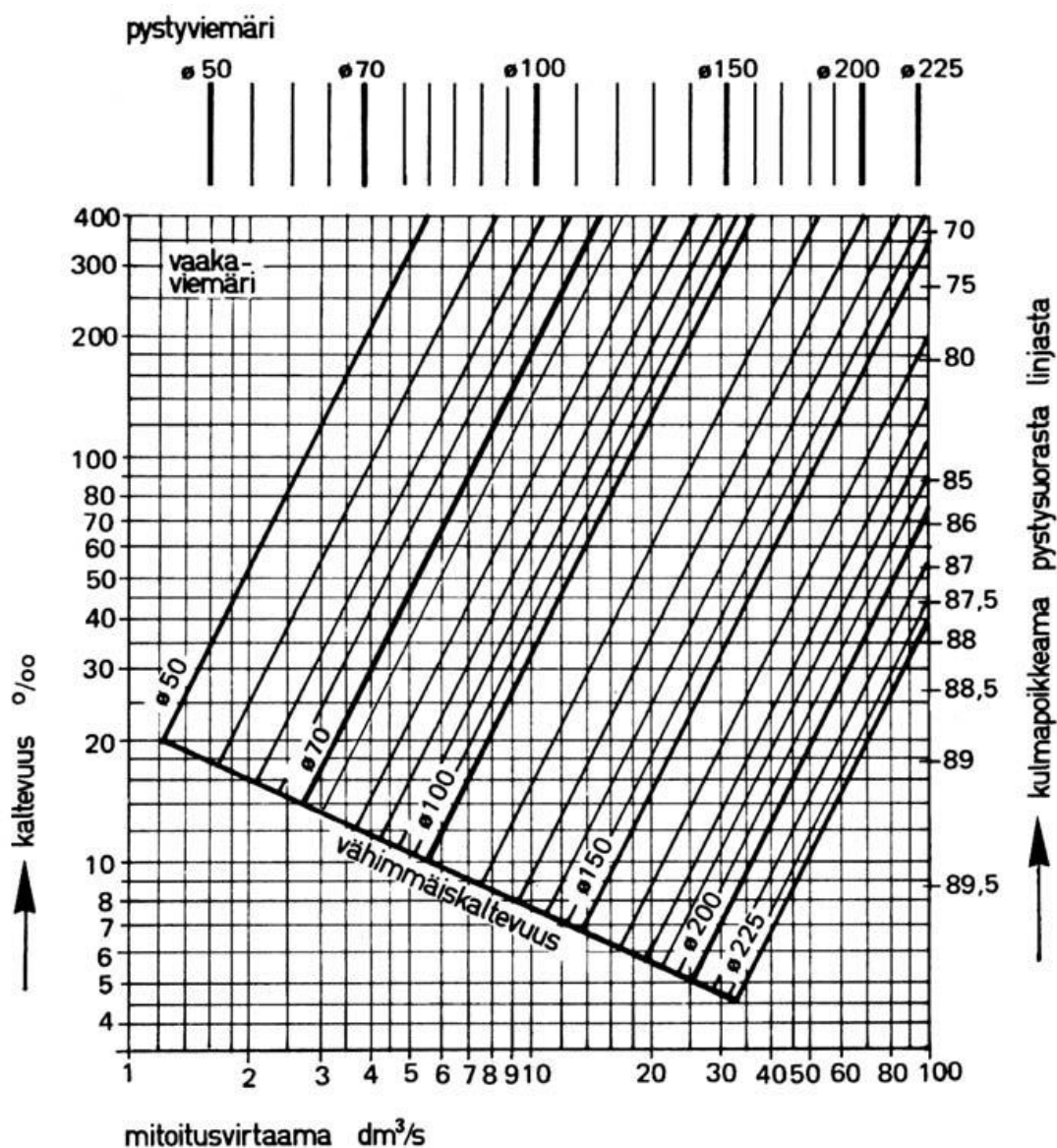


**Kuva 3.23.** Esimerkkikuva kattokaivojen sijoittelusta loivalla katolla

Hulevesilaitteistot mitoitetetaan niin, että mitoitusadetta vastaava virtaama ei aiheuta tulvimista. Sadevesiviemärin putkikoko mitoitetetaan mitoitusvirtaaman mukaan. Rakentamismääräyskokoelmassa D1 (2007) esitetään mitoitusnomogrammit (kuvat 3.24 ja 3.25) erikseen muovi- ja valurautaviemäreille:



**Kuva 3.24.** Sadevesiviemärin mitoitus muoviviemäreille (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007)



**Kuva 3.25.** Sadevesiviemäriin mitoitus valurautaviemäreille (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007)

Kuvissa 3.24 ja 3.25 viemäreiden putkikoot tarkoittavat putken sisämittoja. Sadevesikaivosta lähtevän viemäriin minimikoko on aina DN 100 ja maahan sijoitettavan viemäriin minimikoko DN 70. (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007)

Mitoitusvirtaama voidaan laskea kaavalla 3.19 (RIL 126-2009):

$$Q = q * (k_1 * A_1 + k_2 * A_2 + \dots + k_n * A_n), \quad (3.19)$$

jossa

Q on todennäköinen virtaama [ $\text{l/s}$ ]

q on mitoitussateen rankkuus [ $\text{l/s} \cdot \text{m}^2$ ]

$k_n$  on valumiskerroin osa-alueelle

$A_n$  on valuma-alueen osan pinta-ala [ $\text{m}^2$ ].

Salaojituskerroksen vedenjohtokapasiteetti ilmoitetaan usein yksiköllä l/(s\*m). Kerrokselta vaadittava salaojituskapasiteetti voidaan laskea kaavalla 3.20 (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002).

$$q' = \frac{A \cdot k_n \cdot q}{b} \quad (3.20)$$

jossa

$q'$  on salaojituskerrokselta vaadittava kapasiteetti [l/s\*m]

$A$  on valuma-alueen osan pinta-ala [m<sup>2</sup>]

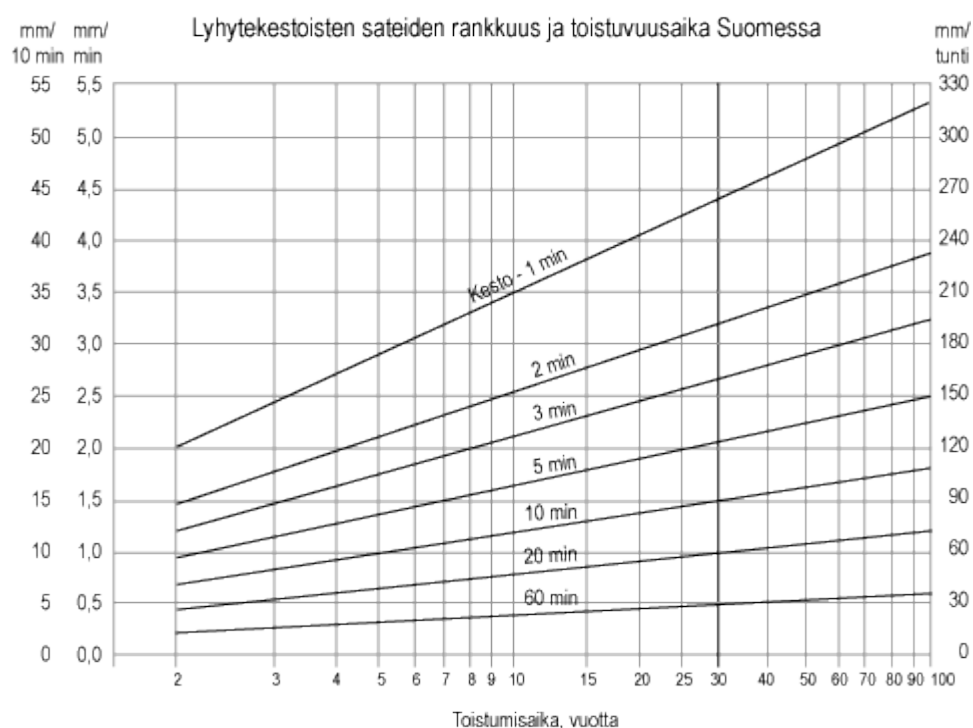
$k_n$  on valumiskerroin osa-alueelle

$q$  on mitoitussateen rankkuus [l/s\*m<sup>2</sup>]

$b$  on vedenvirtausmatka [m]

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan mitoitussateena käytetään yleensä arvoa 0,015 dm<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup>. Viranomaisen luvalla tulvimisen haitallisuudesta riippuen mitoitussateena voidaan käyttää 0,010 - 0,020 dm<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup> välisiä arvoja. (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007)

Kuvassa 3.26 on esitetty Ilmatieteen laitoksen esittämä kaavio lyhytkestoisten sateiden rankkuudesta ja toistuvuusajoista Suomessa.



**Kuva 3.26.** Lyhytkestoisten sateiden rankkuus ja toistuvuus aika Suomessa (Ilmatieteen laitos, sade)

Rakentamismääräyskokoelman osassa D1 (2007) määritetty mitoitussateen arvo 0,015 dm<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup> eli 0,9 mm/min vastaa kuvan 3.26 mukaan 10 minuuttia kestävä sateita, joka toistuu joka viides vuosi.



Taulukkoon 3.18 on kerätty RIL 126-2009 -julkaisussa valumiskertoimelle  $k_n$  annetut arvot erilaisille päällysteille:

**Taulukko 3.18.** Mitoitusvirtaaman laskennassa käytettävän valumiskertoimen  $k_n$  arvoja (RIL 126-2009)

Päällyste	$k_n$
Katot, asfaltti-, betoni- ja muut tiiviit päällysteet	1,0
Sorapäällysteet	0,7-0,9
Nurmikot ja päällystämättömät pinnat	0,3

Taulukon 3.18 mukaan katoille käytetään valumiskertoimen arvona arvoa 1,0.

Viherkaton vettä pidättävä vaikutus on huomioitu saksalaisessa FLL:n viherkatto-ohjeessa (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002). Ohjeessa annetaan valumakertoimen arvoja erilaisille viherkatoille katon kaltevuuden ja kasvukerroksen paksuuden mukaan. Valumakertoimet esitetään taulukossa 3.19.

**Taulukko 3.19.** Mitoitusvirtaaman laskennassa käytettävän valumiskertoimen arvoja viherkatoille (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002)

Kasvualustan paksuus [mm]	Katon kaltevuus $\leq 15^\circ$	Katon kaltevuus $> 15^\circ$
> 500	$k_n = 0,1$	-
250 - 500	$k_n = 0,2$	-
150 - 250	$k_n = 0,3$	-
100 - 150	$k_n = 0,4$	$k_n = 0,5$
60 - 100	$k_n = 0,5$	$k_n = 0,6$
40 - 60	$k_n = 0,6$	$k_n = 0,7$
20 - 40	$k_n = 0,7$	$k_n = 0,8$

Ohjeen (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002) mukaan taulukon 3.19 arvot ovat voimassa, kun mitoitusasteen arvo on  $0,030 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$  ja edellisestä katon kastumisesta on kulunut 24 tuntia.

### 3.6.1 Salaojituserros

Viherkattorakenteen sisään kulkeutunut ylimääräinen vesi poistetaan salaojituserrosten avulla. Salaojituserroksen kautta vesi voi poistua katolta valumalla. Salaojituserrokset suunnitellaan niin, että rakenteet eivät kuormitu liikaa eivätkä kasvit tai rakenteet vaurioidu seisovasta vedestä. (RT 85-10709 1999, Vehviläinen et al. 2010)

Salaojitus voidaan tehdä kahdella eri tavalla: Salaojana voidaan käyttää joko raekooltaan suurta rakeista materiaalia kuten kevytsoraa tai esimerkiksi salaojamattoa, joka voi toimia sekä salaojana että tarvittaessa kasvualustan vesivarastona. Salaojakerroksen tulee olla yhtenäinen, salaojitusominaisuuksiltaan homogeeninen ja pinnaltaan tasainen kerros. RT 85-10709 (1999) -ohjekortissa salaojituskerroksen vaihtoehtoisiksi annetaan esimerkiksi:

- 6-22 mm paksu jäykästä polyamidi-polyesterilangasta kudottu levymäinen salaojamatto
- 30-50 mm paksu alustalevy, joka on huokoinen ja imukykyinen
- raekooltaan 4-10 mm kevytsora, jonka kerrospaksuus valitaan kattokasvillisuustyyppin mukaan

Kerroksia on viherkaton rakennetyypistä ja kasvillisuudesta riippuen yksi tai kaksi. Luvussa 4 esitetään viherkattorakennetyyppejä, joista kerrosten sijainti ja lukumäärä selviävät.

Ensimmäinen salaojituskerros pitäisi olla kaikissa viherkattotyypeissä välittömästi vedeneristeen päällä. Kerroksen tarkoitus on varmistaa katon vedenpoiston toimivuus. Vedeneristeen päällä olevassa salaojituskerroksessa on hyvä käyttää tähän tarkoitukseen valmistettua salaojamattoa (RT 85-11205 2016). Salaojamaton avulla vedeneristekerroksen päälle saadaan myös ylimääräinen suojakerros, joka on usein tarpeellinen vaikka vedeneristyskermi olisi jo valmiiksi juurisuojattu. Vedeneristyksen suojausta on käsitelty luvussa 3.4.

Toinen salaojituskerros voi sijaita kasvillisuuden kasvualustan alla. Kasvillisuuden kannalta salaojituskerros on erittäin tärkeä. Salaojituksella estetään kasvualustan liiallinen vettyminen. Rehevämmät kasvilajit saattavat vallata istutusalueen, jos salaojitus ei toimi ja vesi jää seisomaan. Kasvualustan salaojituskerrosta ei välttämättä tarvita, jos kasvillisuus on matalaa ja käytettävällä kasvualustalla on jo itsellään salaojitusominaisuuksia. Syksyllä kasvualustan toimiva salaojitus on kuitenkin tärkeää: toimivan salaojituskerroksen avulla liika vesi poistuu katolta eikä jää katolle jäätymään. Näin ehkäistään kevään sulamisvesien aiheuttamia ongelmia. (RIL 107-2012, RT 85-10709 1999)

Salaojituskerrokset erotetaan molemmin puolin muista rakenteen kerroksista suodatinkerroksen, esimerkiksi kuitukankaan, avulla. Kuitukankaan tarkoitus on estää hienojakoisen maa-aineksen kulkeutuminen kasvualustasta salaojituskerrokseen ja näin estää vedenpoiston tukkeutuminen. (RT 85-10709 1999)

Kaavalla 3.20 voidaan laskea salaojituskerrokselta vaadittava vedenjohtokyky. Salaojituskerroksen vedenjohtavuuteen vaikuttaa kattorakenteen kaltevuus, kerroksen päällisten rakenteiden paino ja vaadittava virtausmatka. Nämä asiat pitää tarkistaa valmistajan tuotetiedoista. Salaojakerroksen tulee kestää siihen kohdistuvat kuormitukset vaurioitumatta eikä kuormitus saa aiheuttaa sen toimintaan vaikuttavia muodonmuutoksia (RT 85-11205 2016).

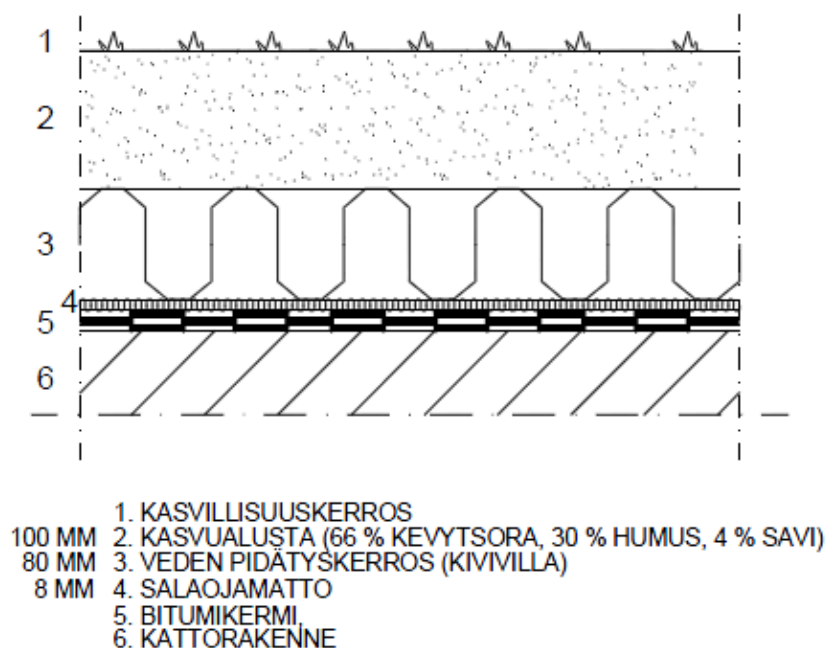
### 3.6.2 Tutkimukset viherkaton sadevedenpoistosta

Hulevesien hallinnassa niiden syntypaikalla suoritettavat toimenpiteet ovat tärkeitä (Britschgi et al. 2012). Viherkattojen ja kattopuutarhojen avulla voidaan vähentää sadeveden valumaa katoilta: viherkatoilta valuu lähes aina vähemmän vettä maahan kuin tavallisilta katoilta. Osa vedestä varastoituu viherkaton viherosan rakenteisiin ja jää kasvien käyttöön. Kasvien käyttämä ja haihduttama vesi ei valu katolta alas. (Snodgrass & McIntyre 2010)

Rankkasateiden aiheuttamat taajamatulvat aiheuttavat vahinkoja. Ennuste on, että tulevaisuudessa ilmastonmuutos lisää Suomessa rankkasateita. Näin myös niiden aiheuttamat vahingot lisääntyvät, jos niihin ei varauduta. (Aaltonen et al. 2008)

Viherkattotutkimuksissa on huomattu, että rankkasateella viherkatolta, jossa on ohut kasvillisuus ja kasvualustakerros, poistuu lähes vastaava vesimäärä kuin tavalliselta katolta. Myös valmiiksi kastuneelta viherkatolta valunta on usein tavallista kattoon vastaava. (Teemusk & Mander 2007, Bengtsson et al. 2005, Graceson et al. 2013) Näin ollen ainakin ekstensiivisillä viherkatoilla vedenpoiston suunnittelussa tulee käyttää tavanomaisen katon valumakerrointa. Pitkällä aikavälillä mitattuna ohutkin viherkatto pidättää kuitenkin suuren osan siihen sataneesta vedestä (Bengtsson et al. 2005, DeNardo et al. 2002).

Virolaisessa tutkimuksessa Teemusk ja Mander (2007) tutkivat viherkattojen kykyä sitoa sadevettä. Tuloksia verrattiin loivaan bitumikermikattoon. Tarkastellun viherkaton alusta oli vastaavanlainen kuin vertailtava loiva bitumikermikatto. Alustan päällä viherkatossa oli 8 mm paksu salaojamatto, 80 mm paksu kerros kivivillaa sadeveden pidätykseen ja 100 mm paksu kasvualustakerros. Kasvukerros oli seos, jossa oli 66 % kevytso-  
raa, 30 % humusta ja 4 % savea. Kasvillisuuskerros peitti 45 % katon pinta-alasta. Suurin osa kasvillisuudesta oli maksaruohoa. Kuvassa 3.27 esitetään tutkitun viherkaton rakenne.



**Kuva 3.27.** Virolaisessa viherkattotutkimuksessa (Teemusk & Mander 2007) käytetyn viherkaton rakenne

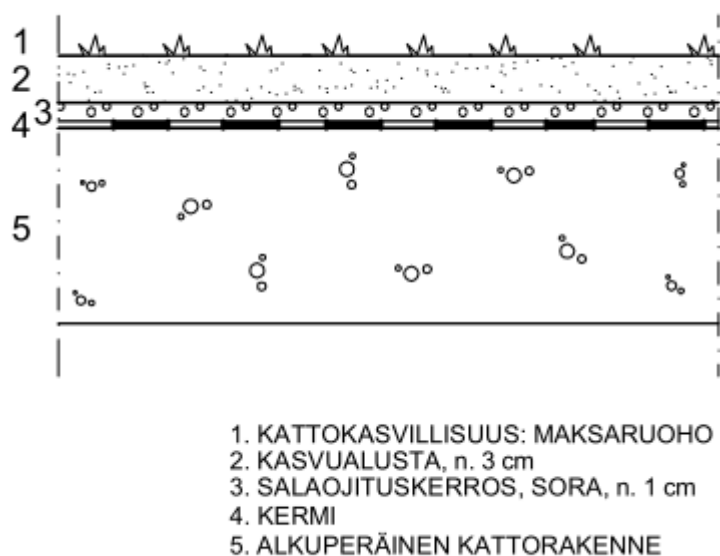
Tutkimuksessa todetaan, että tutkittu viherkatto pystyi tehokkaasti pitämään vähäiset sademäärät, kun kasvukerros oli kuiva. Rankkasateella viherkatto ei kuitenkaan toiminut yhtä tehokkaasti: lähes sama vesimäärä poistui sekä viherkatolta että vertailukatolta. Tutkimuksen mittaustuloksia on esitetty taulukossa 3.20.

**Taulukko 3.20.** Virolaisessa viherkattotutkimuksessa (Teemusk & Mander 2007) mitattu sadanta ja tutkittavilta katoilta valuneen veden määrä

Mittausaika	Sademäärä [mm]	Sateen kesto [min]	Valunta [mm]	
			Viherkatto	Vertailukatto
2.8. klo 16.30 -	0,8	100		
3.8. klo 23.00	1,3	80	0,3	1,9
31.8. klo 21.00 -	6,8	60		
6.9. klo 11.00	5,3	85	11,2	11,9
	3,7	130		
	0,8	75	4,9	4,4
	1,0	170		
	0,5	60	1,7	1,1
	0,1	195	-	0,1
14.9. klo 18.00 -	1,4	35	0,08	1,3
16.9. klo 15.00	1,0	20	0,07	1,0

Taulukossa 3.20 on esitetty tutkimuksessa mitatut sademäärät ja katoilta poistunut veden määrä tutkittuina ajankohtina. Yhden millimetrin sademäärä tarkoittaa, että yhden neliömetrin alueelle kertyy yksi litra vettä (Ilmatieteen laitos, 2014). Taulukosta 3.19 nähdään, että 31.8. ja 6.9. välisenä aikana tutkimuksessa sademääräksi mitattiin yhteensä 18,2 mm. Viherkatolta poistui vettä 17,8 mm ja vertailukatolta 17,5 mm. Tällä aikavälillä tutkimuksen viherkatolla ei saavutettu hyötyä sadeveden pidätykseen.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Bengtsson et al. 2005) tutkittiin valuntaa ohuelta ekstensiiviseltä viherkatolta Augustenborgissa Ruotsissa. Tutkimuksessa perehdyttiin sekä yksittäisiin sateisiin että katon käyttäytymiseen pitkällä aikavälillä vedenpoiston osalta. Kuvassa 3.28 on esitetty tutkimuksen katon rakennustyyppi karkeasti.



**Kuva 3.28.** Ruotsalaisen viherkattotutkimuksen (Bengtsson et al. 2005) katon rakennustyyppi

Kuvan 3.28 kattorakenteen rakennekerrokset ovat hyvin ohuet. Tutkimuksessa mitattiin sademääriä noin 12 kuukautta: vuoden 2001 elokuusta vuoden 2002 heinäkuun loppuun. Mittaustulokset esitetään taulukossa 3.21.

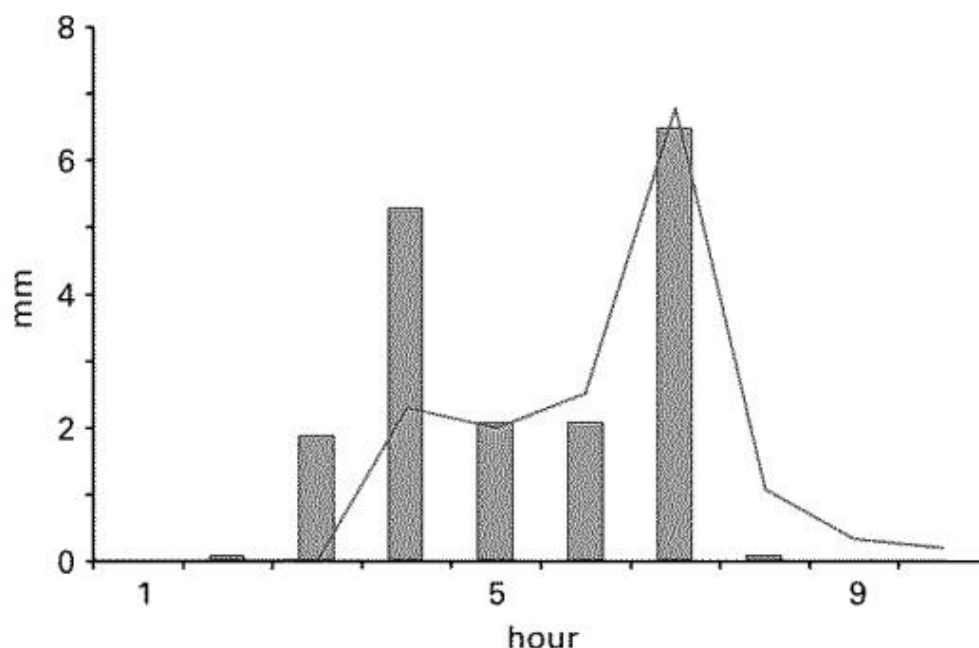
**Taulukko 3.21.** Viherkattotutkimuksessa mitattu sadanta, valunta ja haihdunta tutkittavalta katolta (Bengtsson et al. 2005)

<b>Kuukausi</b>	<b>Sadanta [mm]</b>	<b>Valunta [mm]</b>	<b>Haihdunta [mm]</b>
2001 Elokuu	89	48	41
Syyskuu	110	76	34
Lokakuu	43	17	26
Marraskuu	50	29	21
Joulukuu	37	25	12
2002 Tammikuu	76	62	14
Helmikuu	69	56	13
Maaliskuu	29	13	16
Huhtikuu	28	5	23
Toukokuu	52	13	39
Kesäkuu	64	8	56
Heinäkuu	58	26	32
Koko vuosi	705	378	327

Taulukosta 3.21 nähdään, että koko vuoden sadanta katolle oli 705 mm ja katolta valuneen veden määrä 378 mm. Tutkimuksen viherkatto siis pidätti ja haihdutti lähes puolet siihen sataneesta vedestä vuositasona.

Yksittäisiä päiviä tutkittiin myös: valunta oli päivittäin pienempi kuin sadanta lukuun ottamatta päiviä, jolloin oli satanut monta päivää peräkkäin. Tällöin valunta vastasi sadannan määrää. Tuntitasolle mentäessä todettiin, että kovalla sateella viherkatolta tunnissa valunut vesimäärä vastasi sadannan määrää. Tutkimusjaksolla suurin tunnissa satanut määrä oli 16 mm, jolloin valunta katolta oli 15 mm. Toisaalta silloin, kun katto oli kuiva ennen sadetta, valunta oli lähes olematonta. Tutkimuksessa mainittiin esimerkkitunti jolloin satoi 13 mm, mutta valunnan määrä oli vain 1 mm.

Kuvassa 3.29 esitetään esimerkki sadannan ja valuman määrästä viherkatolta 10 tunnin ajanjaksolta.



**Kuva 3.29.** Ruotsalaisen viherkattotutkimuksen esimerkki sadannasta ja valunnasta 10 tunnin ajalta 5 toukokuuta 2002. (Bengtsson et al. 2005)

Kuvan 3.29 pylväät kuvaavat sateen määrää tunneittain ja viiva valuvan veden määrää tunnissa. Kaaviosta nähdään miten katto pidättää sateen alussa vettä. Sateen koven tuessa veden valunta katolta lisääntyy ja rankimmassa kohtaa valunta vastaa sadantaa. Sateen loputtua valunta jatkuu. Osa kuivan katon alussa pidättämästä vedestä poistuu katolta hiljalleen sateen päättymisen jälkeen.

Pitkällä aikavälillä viherkaton vettä pidättävä vaikutus on huomattu myös Yhdysvaltaisessa tutkimuksessa (DeNardo et al. 2002). Tutkimuksessa mitattiin seitsemän eri sateen aikana viherkatoilta poistuneen veden määrää. Viherkattojen kattokasvillisuus oli maksaruohoa. Kasvualustan paksuus tutkimuksen viherkatoilla oli 76 millimetriä. Taulukkoon 3.22 on koottu tutkimuksen mittaustuloksia yhteen.

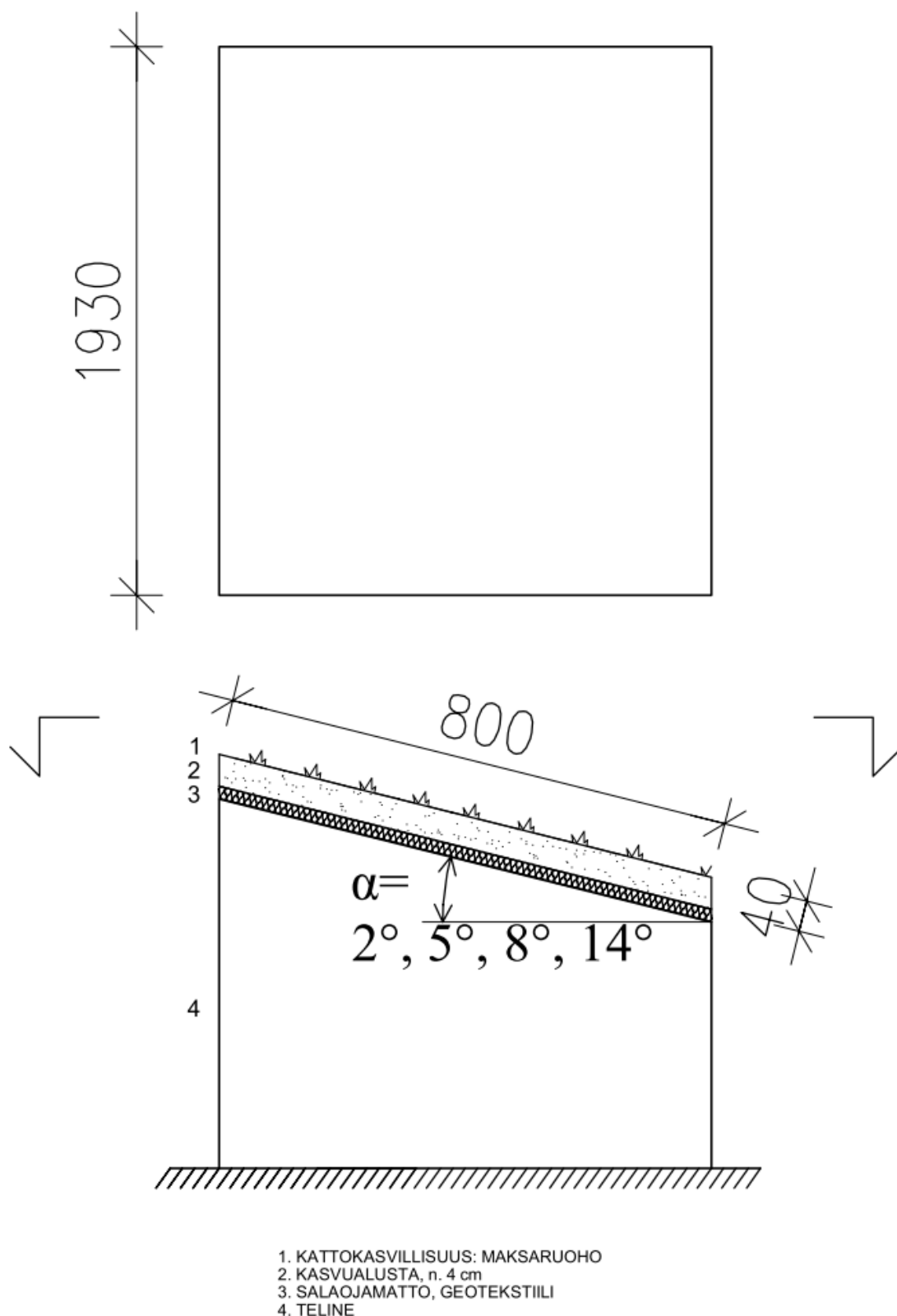
**Taulukko 3.22.** Yhdysvaltalaisen viherkattotutkimuksen (DeNardo et al. 2002) mittaus-  
tulokset viherkaton vedenpidätyskyvystä

<b>PVM</b>	<b>Aika edelli- sestä sateesta [d]</b>	<b>Sade- määrä [mm]</b>	<b>Suurin sateen intensi- teetti [mm/h]</b>	<b>Valunta [mm]</b>	<b>Suurin valun- nan intensi- teetti [mm/h]</b>	<b>Pidät- täminen [mm]</b>	<b>Viivyt- täminen [mm]</b>
16.10	3	29,3	4,3	20,0	3,2	8,6	1,5
17.10	4	3,3	0,77	0,1	0	3,2	0
25.10	8	23,9	6,6	19,2	4,1	4,6	6,7
5.11	4	20,7	3,6	13,6	2,7	6,5	6,1
10.11	5	10,6	8,2	3,4	2,0	7,3	3,1
12.11	1	11,4	3,3	7,7	2,6	3,7	4,9
16.11	4	39,9	3,05	26,0	2,3	13,6	4,0
	KA:	19,7	4,3	13,2	2,4	6,5	3,8

Taulukosta 3.22 voidaan tulkita tutkimuksen viherkattojen käyttäytymistä sateen aikana ja sen jälkeen. Keskimäärin tutkimuksen katot pidättivät vettä sateesta 6,5 mm eli noin kolmasosan sademäärien keskiarvosta. Viherkatot pienensivät katolta valuvan vesimäärän intensiteetin keskimäärin arvoon 2,4 mm/h sateen keskimääräisestä intensiteetistä 4,3 mm/h. Sademäärästä osa valuu viherkatolta vasta sateen jälkeen, tutkimuksen mittaustuloksissa keskimäärin 3,8 mm.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa Villarreal ja Bengtsson (2005) tutkivat ekstensiivisen viherkaton vedenpoistoa yksittäisissä vesisateissa ja katon kaltevuuden vaikutusta vedenpoistoon. Tutkimuksen mittauksia ei tehty rakennuksen katolla vaan tutkimusta varten rakennetulla koealustalla, jonka päällä oli tyypillinen ekstensiivisen viherkaton viherosa: salaojamatto, 4 cm kasvualusta ja maksaruohokasvillisuus. Vesisade alustan päälle saatiin aikaan sprinklereillä ja poistuvan veden määrää mitattiin yhden minuutin välein. Villarreal ja Bengtsson (2005) mittasivat vedenpoistoa katolta kasvualustan ollessa kuiva sekä märkä. Mittauksia tehtiin myös erilaisilla kattokaltevuuksilla. Tutkittavien sateiden intensiteetteinä käytettiin kahden todellisen Malmön sääasemalle mitatun sateen vesimääriä, 2 vuoden mitoitussademäärää Lundissa sekä tasaisia intensiteettejä 0,2, 0,4 ja 0,8 mm/m. Kuvassa 3.30 esitetään tutkimuksessa käytetyn koealustan mitat, käytetyt kattokaltevuudet ja tutkitun viherkaton rakennetyyppi.





**Kuva 3.30.** Viherkaton vedenpoistoa tarkastelleen tutkimuksen (Villarreal & Bengtsson 2005) mittauksissa käytetty koealusta

Tutkimuksessa todettiin, että kaltevuus vaikuttaa katon vedenpidätyskykyyn: mittauksen mukaan katon vedenpidätyskyky vähenee kaltevuuden kasvaessa. Sateen intensiteetti vaikutti myös vedenpidätyskykyyn. Vedenpidätyskyky oli mittauksissa kaikilla

kattokaltevuuksilla parhaimmillaan, kun sateen intensiteetti oli pienin. Tutkimuksessa mitattiin myös kuinka suuren vesimäärän katto voi pidättää ennen kuin vesi alkaa poistua katolta, kun kasvualusta ennen sadetta on kuiva. Kaltevuudesta riippuen tämä määrä oli 6 ja 12 mm välillä: pienimmällä, 2°, kaltevuudella sademäärä ennen valunnan alkamista katolle oli 12 mm ja 14° kaltevuudella 6 mm. (Villarreal & Bengtsson 2005)

### 3.7 Kasvillisuuden kasvualusta

Kasvillisuuden suunnittelun pohjana on tulevan katon käyttötarkoitus ja toiminnot: ne määrittävät millaisia kasvillisuustyyppejä alueelle voidaan valita ja millaista hoitoa katto vaatii. Kasvualustan paksuuden ja laadun valintaan vaikuttaa katon viherrakennetyyppi, viherkatolta vaadittavat ominaisuudet ja haluttu kasvillisuus (RT 85-11204 2016). Käytettävät kasvillisuustyypit vaativat eri paksuisia kasvialustoja kuvan 3.31 mukaisesti. Matala kasvillisuus ei vaadi niin syvää kasvialustaa kuin korkeat puut tai pensaat. Kasvialusta on kasvillisuusalueen pintakerros. Kasvien juuret sijaitsevat pääasiassa kasvialustassa, josta kasvit saavat tarvitsemansa veden ja ravinteet. (RT 85-10709 1999)



**Kuva 3.31.** Viherkaton kasvialustan paksuus kasvillisuustyyppin mukaan (RT 85-11204 2016)

Kuvassa 3.31 on havainnollistettu kasvialustan paksuuden kasvu kasvien vaativuuden mukaan. Kevyt kasvillisuus tarvitsee RT 85-11204 (2016) -ohjekortin mukaan 60 - 80 mm paksun kasvialustan. Kattopuutarhoissa käytettävän kasvillisuuden vaatimus kasvialustan paksuudelle on 200 - 1000 mm.

Viherkatoilla pyritään käyttää mahdollisimman ohuita kasvualustan kerroksia. Näin katon kokonaispainokin pysyy mahdollisimman pienenä. Rakenteen painoa on lisäksi mahdollista keventää mm. solulasimurskeella, biohiilellä tai kevytsoralla huomioiden kuitenkin tuulenpaineen aiheuttama noste. (RT 85-10709 1999, RT 85-11204 2016)

Kasvillisuuden kasvukerros ja sen tuomat vaatimukset erottavat viherkattojen rakenteet pihatasojen rakenteista. Kasvukerroksen alapuoleisen vedeneristeen kestävyys tulee varmistaa juurien tunkeutumista vastaan. Kasvukerros ei saa vettyä liikaa, joten se on myös salaojitettava. (Rakentajain kalenteri 2000)

Kasvualustan ominaisuuksien määrittämisessä pitää huomioida monia asioita. Yleisiä vaatimuksia kasvualustalle rakenteelle ovat stabiilius, ilmavuus ja huokoisuus. Kasvualusta ei saa olla hapanta eikä siinä saa olla rikkakasvien osia. Kasvualustan pinta ei saa painua tai kuorettua. RT 85-10709 (1999) -ohjekortissa kasvualustan suunnittelussa pitää yleisten vaatimusten lisäksi huomioida:

- kasvualustan paino
- paloturvallisuus
- käyttötarkoitus
- hoidon taso
- kosteus
- humuspitoisuus
- lannoitus

Kasvualustan täytyy kestää sen käyttötarkoitus. Jos katto on suunniteltu oleskeluun, pitää kasvualustan kestää tallominen. Kasvualustan pitää kestää kasvien kastelua ja kasvityypistä riippuen varastoida jonkin verran vettä. Suomen oloissa pitää huomioida myös veden jäätyminen. (RT 85-10709 1999)

RT 89-10998 (2010) -ohjekortissa esitetään ohjeita talonrakennushankkeen kasvillisuusalueiden rakentamiseen. Nämä on esitetty taulukossa 3.23. Kasvualustan maa-aines ja syvyys valitaan kohteen vaativuuden ja käyttötarkoituksen mukaan. Kasvillisuustyyppi määrää, kuinka syvä tai tilava kasvualustan pitää olla.

**Taulukko 3.23.** Kasvityyppien kasvualustan vähimmäispaksuudet ja -tilavuudet (RT 89-10998 2010)

<b>Kasvillisuustyyppi</b>	<b>Kasvualustan paksuus tiivistettynä [mm]</b>			<b>Kasvu- alustan tila- vuus [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Yksittäiskas- vin kasvu- alustan mi- tat [mm]</b>
	Kylvö- ja istu- tusalusta	Perus- maa	Vettä pidät- tävä kerros		
Nurmikko	150 - 200	300			
Maisemanurmi	0 - 50	250			
Niitty	150 - 300	250			
Ryhmäruusut	600		100 - 200		
Perennat	200 - 600		100 - 200		
Mukula- ja sipulikas- vit	200 - 400		100 - 200		
Pensaat	400		100 - 200	0,3	
Köynnökset	600		100 - 200	0,3	
Pienet puistopuut	600		100 - 200	1,5	ø400
Suuret puistopuut	800		100 - 200	3,2	ø400
Pienet puut rajoite- tussa kasvualustassa	1000			25	3000x3000

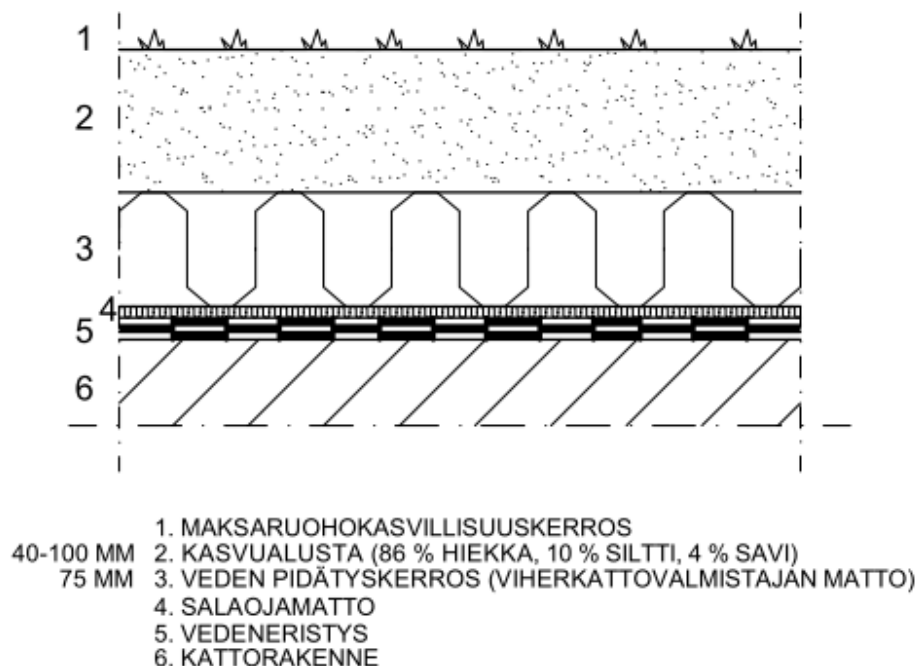
Viherkattoja käsittelevässä RT 85-11204 (2016) -ohjekortissa on vastaava taulukko kattopuutarhojen ja viherkattojen kasvillisuuden vaatimille kasvualustapaksuuksille. Arvot on esitetty taulukossa 3.24.

**Taulukko 3.24.** Kattopuutarhojen ja viherkattojen kasvialustapaksuudet (RT 85-11204 2016)

<b>Kasvillisuustyyppi</b>	<b>Kasvialustan paksuus [mm]</b>
Nurmikko	200
Keto ja niittykasvit, varvut, maanpeiteperennat	150 - 250
Köynnökset	600
Matalat pensaات	400
Suuret pensaات	800
Pikkupuut	800
Isot puut	1000

Yhdysvaltalaisessa Michiganin osavaltion yliopiston tutkimuksessa (Getter & Rowe 2008) selvitettiin kasvialustan paksuuden vaikutusta maksaruohokaton kasvillisuuden

kasvuun. Tutkimuksessa selvitettiin 12 eri maksaruoholajin kasvua viherkaton kasvualustoilla joiden paksuudet olivat 40, 70 ja 100 mm. Kuvassa 3.32 on esitetty tutkimuksessa käytetyn katon rakenne.

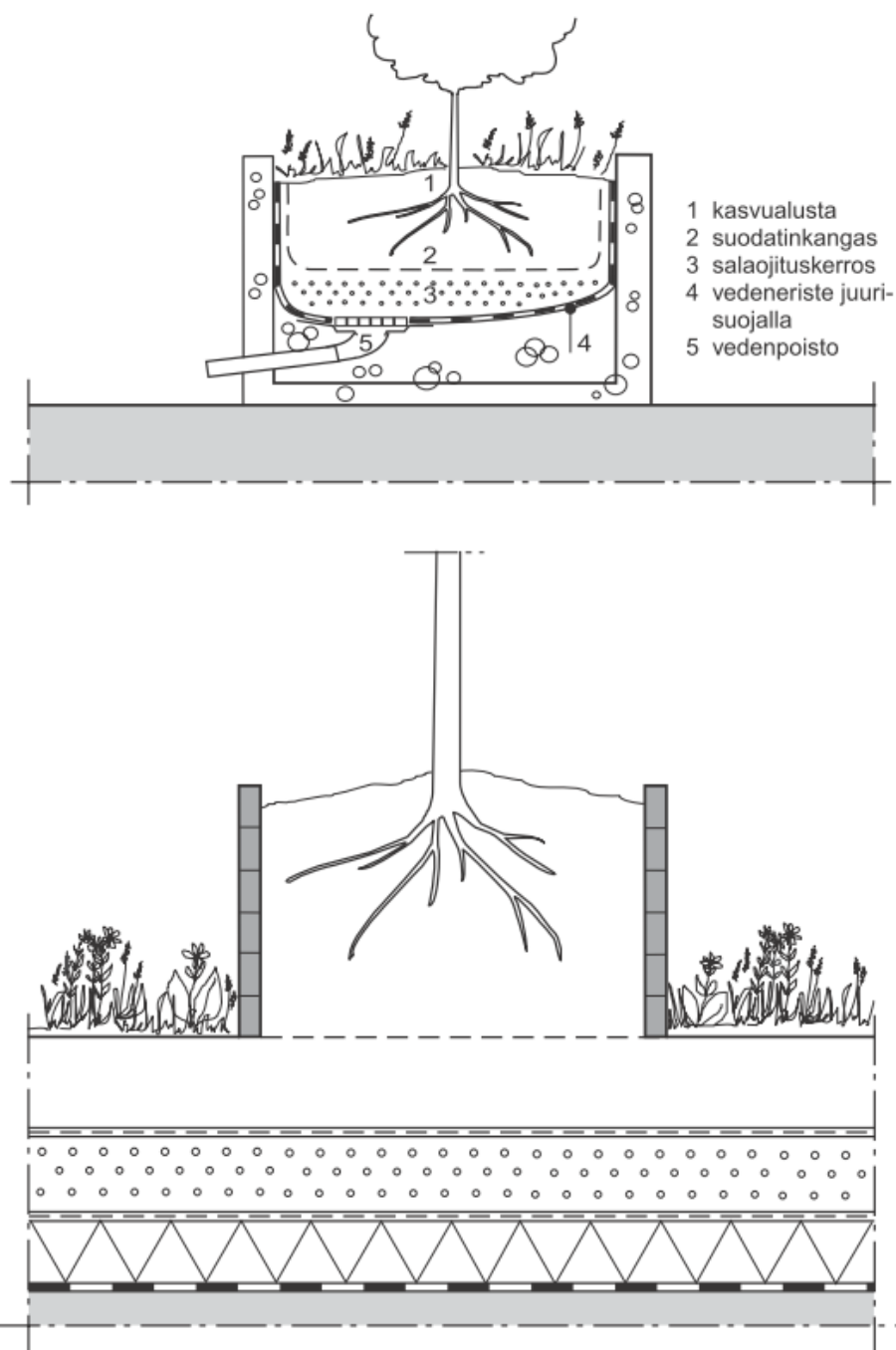


**Kuva 3.32.** Viherkaton kasvualustan paksuuden vaikutusta kasvillisuuden kasvuun selvittäneen tutkimuksen (Getter & Rowe 2008) viherkaton rakennetyyppi

Kuvan 3.32 viherkattorakenteen kasvualusta oli suurimmaksi osaksi hiekkaa. Kasvualusta oli Yhdysvaltalaisen viherkattovalmistajan (Xero Flor) vedenpidätykseen tarkoitettu matto. Vedeneristeen päältä salaojitus oli toteutettu saman valmistajan salaojamatolla.

Tutkimuksen mukaan suurin osa tutkittavista kasvilajeista menestyi huomattavasti paremmin 70 mm kasvualustassa kuin 40 mm kasvualustassa. 100 mm kasvualustassa kasvu vastasi 70 mm alustan kasvua. (Getter & Rowe 2008) Tutkimus suoritettiin Yhdysvaltojen keskilännessä, joten tulosta voidaan pitää jossain määrin soveltamiskelpoisena myös Suomen ilmasto-olosuhteisiin. Suomalaisen ohjeen mukaan maksaruohokaton kasvillisuus vaatii 60 - 80 mm (RT 85-11204 2016), joten tutkimustulos tukee vähintään tämän paksuisen kasvualustan käyttöä.

Katoilla voidaan käyttää myös erillisiä istutusaltaita kasveille. Näissä kasvualusta kuitenkin kuivuu yleensä nopeammin kuin laaja-alaisilla pinnoilla. Tarvittaessa altaisiin voidaan suunnitella kastelujärjestelmä. Ylimääräisen veden on päästävä poistumaan altaasta ja altaan tyhjennys talveksi on onnistuttava. (RT 85-10709 1999) Esimerkkejä istutusaltaiden rakenteista esitetään kuvassa 3.33.



**Kuva 3.33.** Esimerkkejä kasvillisuuden istutusaltaista katolla (RT 85-10709 1999)

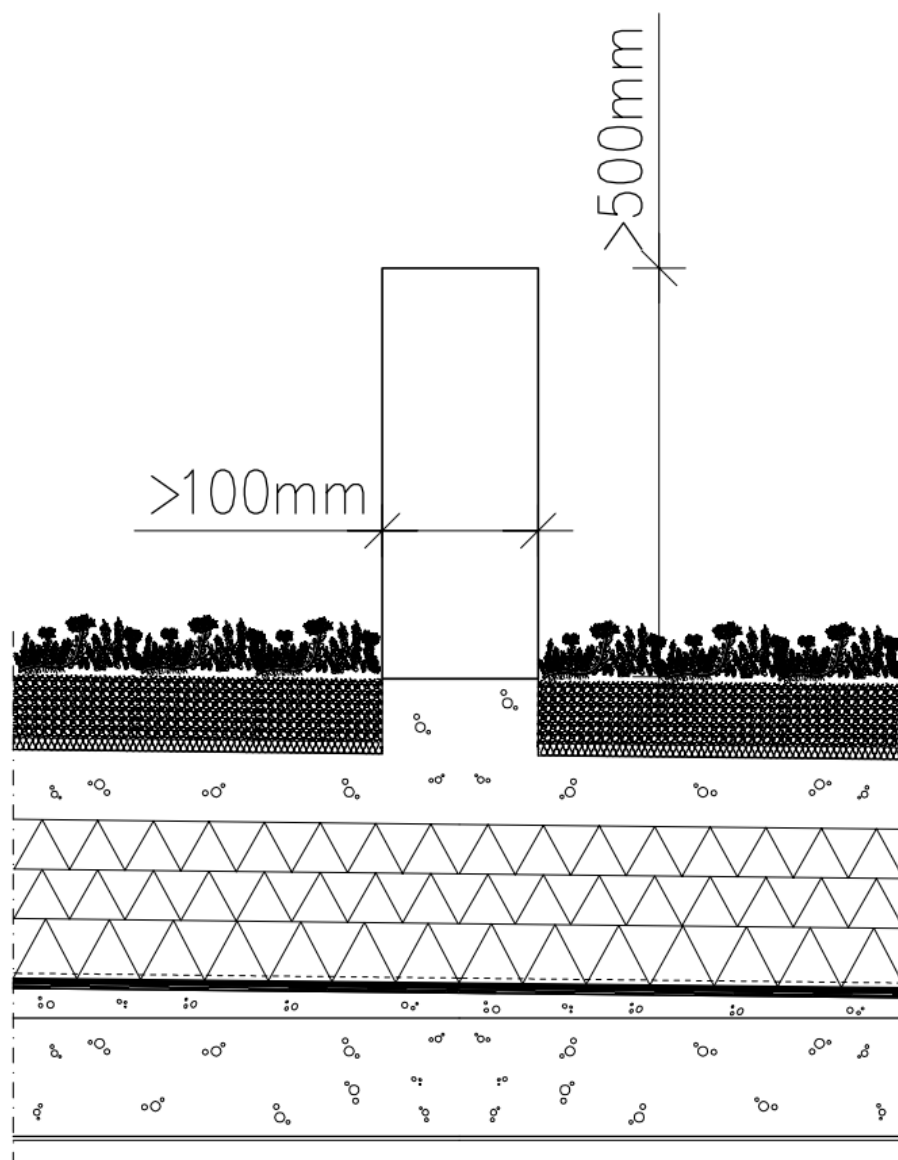
Istutusaltaiden avulla katolle voidaan järjestää tila myös isommille kasveille, kuten pienille puille. Näin katon rakennekerrokset voidaan pitää pienempinä katon muilla alueilla. Istutusaltaan ja siinä olevan kasvillisuuden paino pitää huomioida kantavien rakenteiden mitoituksessa sekä kattorakenteen muiden rakennekerrosten kestävydessä.

### 3.8 Paloturvallisuus

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1 (2011) annetaan vaatimuksia koskien rakennusten paloturvallisuutta. Paloturvallisuuden kannalta kantavien rakenteiden tulee palotilanteessa kestää niille asetettu vähimmäisaika. Palon ja savun leviäminen rakennuksessa pitää olla rajattua. Palon leviäminen viereisiin rakennuksiin pitää yrittää estää.

Vesikatolla tämä tarkoittaa sitä, että palo ei saa levitä vaaraa aiheuttavalla tavalla katteessa eikä sen alustassa. Vesikaterakenteen pitää olla sellainen, että se ei syty helposti viereisen rakennuksen tulipalosta. RakMK E1 (2011) mukaan katteen on oltava yleensä luokkaa BROOF(t2). Paloluokitustestien perusteella myös viherkattorakenteelle voidaan myöntää tämä luokitus. Luokitus koskee vain nimettyä tuotetta ja sitä yksittäistä materiaaliyhdistelmää, jota testissä on käytetty. Mehikasveista ja vähän orgaanista ainetta sisältävästä kasvualustasta koostuva viherrakenne on läpäissyt Suomessa vaaditun palokokeen, mutta kaikkia erilaisia viherkattorakenteita ei ole mahdollista paloluokitella. Luokittelemattomien rakenteiden käyttö on kuitenkin mahdollista, kun käytetään paloturvallisuutta parantavia toimenpiteitä. (RT 85-11205 2016)

Yksi paloturvallisuutta parantava toimenpide on katon palo-osastointi. Suuret kattopinnat täytyy jakaa palokatkoilla enintään 2400 m<sup>2</sup> osiin, jos katteen alusrakenne ei ole vähintään luokkaa A2-s1, d0. Palokatkot tehdään pysty- tai vaakasuorina ja ne sijoitetaan mielellään alla olevien osastoivien seinien kohdalle (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011). RT 85-10709 (1999) -ohjekortin mukaan suuret kattopuutarhat ja viherkatot pitää jakaa paloviranomaisen ohjeen mukaan 1600 m<sup>2</sup> paloalueisiin rakenteellisilla palokatkoilla. Toimivat katot 2013 -julkaisussa suositellaan ensisijaisesti vaakasuuntaisten palokatkojen käyttöä. Vaakasuuntainen palokatko voi olla 5 m leveä ja toteutettu jollakin seuraavista tavoista: yli 20 mm paksu raekooltaan 5-30 mm oleva suojakiveys, yli 20 mm paksu betonilaatta tai metallipintainen pintakermi. Pystysuuntainen palokatko voi olla vähintään 500 mm korkea ja 100 mm leveä pääosin palamattomista materiaaleista tehty suojapellitetty tai metallipintaisella pintakermillä eristetty seinämä. Teräsbetonista valmistettu kuorielementti käy tähän tarkoitukseen myös. Kuvassa 3.34 on esitetty pystysuuntaisen palokatkon periaatekuva käännetyn kattorakenteen päällä.

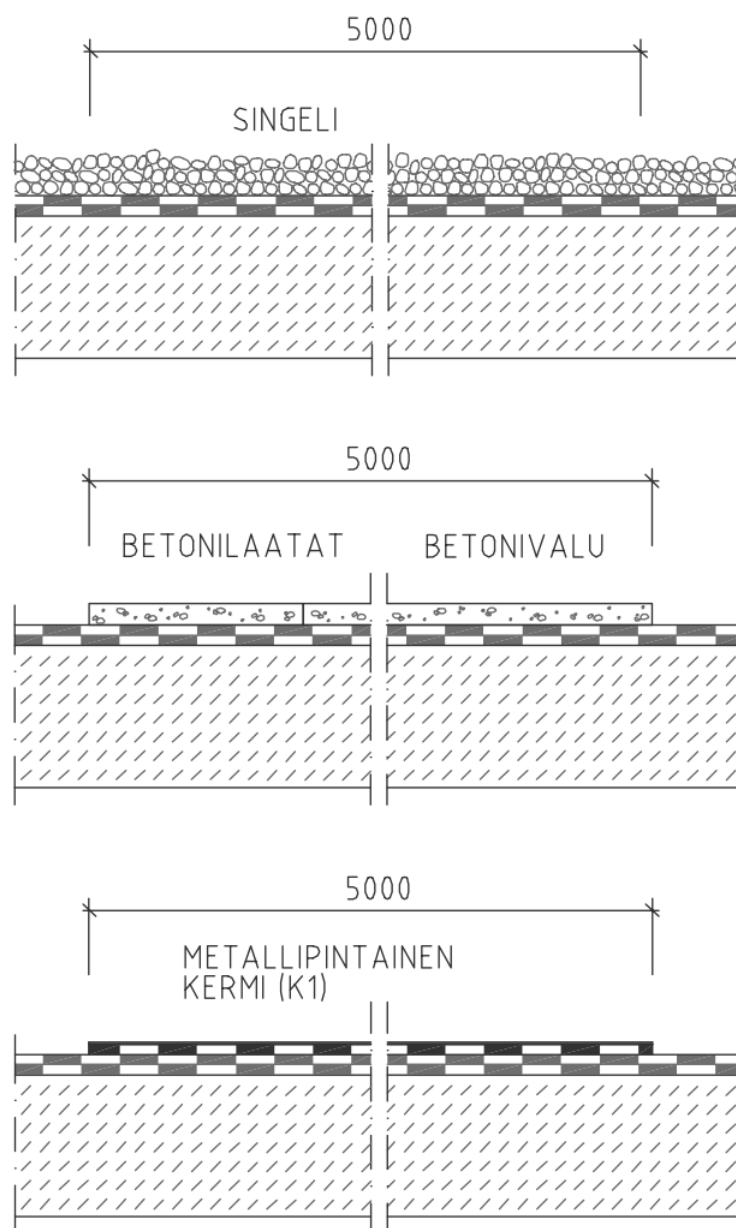


**Kuva 3.34.** Vesikaton pystysuuntaisen palokatkon periaatekuva

Kuvassa 3.34 lämmöneristeen päälliseen pintabetonilaattaan on lisätty korotus, jonka päälle palokatko voidaan rakentaa. Käytettäessä teräsbetonielementtiä kantavalle rakenteelle täytyy huomioida lisäviivakuorma (1,25 kN/m 100 mm x 500 mm poikkileikkaukselle).

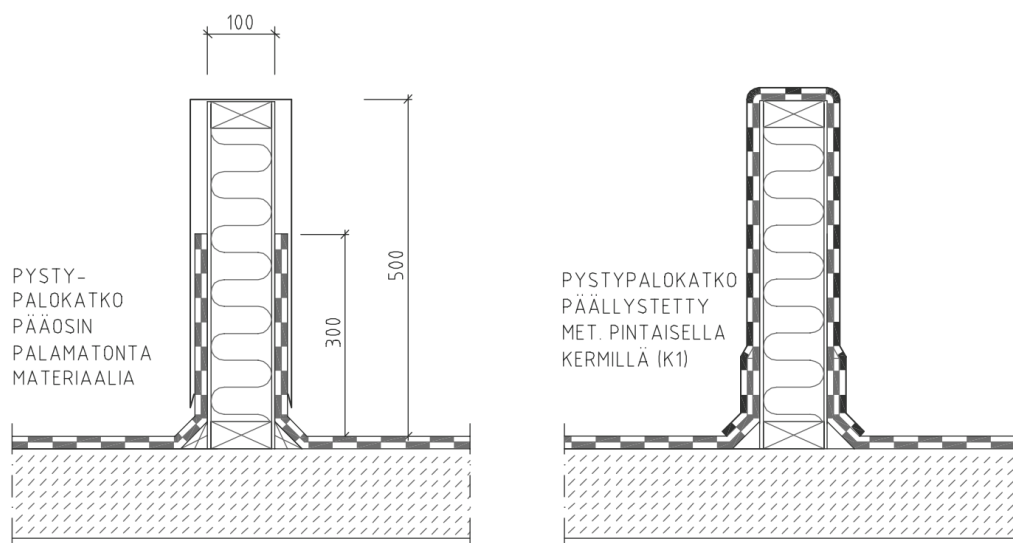
Toimivat katot 2013 -julkaisussa on esitetty kuvia vaaka- ja pystysuuntaisista palokatkoista (kuva 3.35). Ohjeen mukaan vaakasuuntaisia palokatkoja pitäisi käyttää ensisijaisesti. Kasvillisuuden leviäminen palokatkoalueen päälle pitää kuitenkin estää.





**Kuva 3.35.** Vaakasuuntaisia palokatkoja vesikatolla (Toimivat katot 2013)

Kuvan 3.35 palokatkoista parhaiten viherkatolle soveltuu singelikerros tai betonilaatoitus kasvualustan päälle. Nämä vaakasuuntaiset palokatkot toimivat samalla kulkuväylinä viherkatolla. Kulkuväyliä on hyvä sijoittaa katolle kulkemisen helpottamiseksi. Kuvassa 3.36 on Toimivat katot 2013 -julkaisussa esitetyjä pystysuuntaisia palokatkoja.



**Kuva 3.36.** Pystysuuntaisia palokatkoja vesikatolla (Toimivat katot 2013)

Kuvan 3.36 vasemmanpuoleinen palokatko on 500 mm korkea ja 100 mm leveä, pääosin palamattomista materiaaleista tehty seinä, joka on suojapellitetty. Oikeanpuoleisessa palokatossa vesieriste kiertää koko palokatkoseinän. Suojapellititys on korvattu eristämällä seinä metallipintaisella pintakermillä. Kermin pitää täyttää entisen K1-paloluokan vaatimukset. Kumpikin kuvan seinistä sopii käytettäväksi viherkatolla. Seinän alapää voi olla tuettu joko kantavan rakenteen päältä tai mahdollisen pintabetonilaa-  
tan päältä. (Toimivat katot 2013)

Viherkaton paloturvallisuuteen voidaan vaikuttaa myös kasvillisuuden valinnoilla. Esimerkiksi mehi- tai kosteikkokasvillisuus hidastaa mahdollisen palon leviämistä (RT 85-11205 2016). Vähän orgaanista ainetta sisältävällä kasvualustalla on vastaava vaikutus, joten voidaan suojata alapuolisia rakenteita ulkopuolista paloa vastaan. Orgaanisen aineen osuus koko kasvualustasta ei saisi ylittää 20 % ja alustan paksuus pitäisi olla vähintään 30 mm (The GRO Green Roof Code 2011). Viherkattorakenteen kasvualustan ja mahdollisen kosteutta pidättävän kerroksen kosteutta voidaan ylläpitää tarvittaessa kastelulla (RT 85-11205 2016). Ulkomaisissa viherkatto-ohjeissa (Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites 2002, The GRO Green Roof Code 2011) intensiivistä, säännöllisesti kasteltavaa viherkattoa pidetään yhtä paloturvallisena kuin tavallista vesikattoa.

## 4 VIHHERKATTORAKENNETYYPIT JA DETALJIT

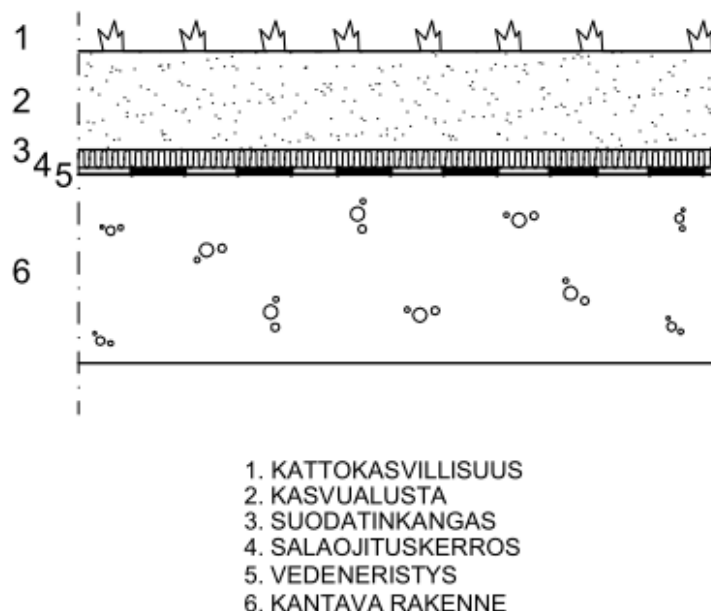
Yläpohjarakenteeseen kuuluu yleensä kantava rakenne, ilmansulku, höyrynsulku, lämmöneriste, vedeneriste ja vesikate. Viherkatoissa rakenteeseen voi näiden lisäksi kuulua: salaojituserrokset, vedeneristeen suojakerros, suodatinkerrokset, vettä pidättävä kerros, kasvialustakerros ja kasvillisuuskerros. Viherkaton rakenteet tulevat tyypillisten rakennekerrosten lisäksi koko kattorakenteeseen. Kasvillisuus kattorakenteen päällä tuo myös lisävaatimuksia alla oleville rakennekerroksille. Viherkatot vaativat suunnittelijalta sekä katon rakentajalta ammattitaitoa. (RT 85-10709 1999, Toimivat katot 2013)

RT 83-11010 (2010) -ohjekortissa esitellään yleisimpiä toimisto- ja asuinrakennusten yläpohjarakenteita, joiden lämmönläpäisykertoimet vastaavat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisia vaatimuksia. Viherkattorakenteet voidaan toteuttaa näiden mukaisina, kun lisänä ovat katon viherosan rakennekerrokset ja niistä aiheutuvat vaatimukset huomioidaan.

Yläpohjarakenteet voidaan jakaa eri tyyppeihin kosteusteknisen toimintatavan mukaan (Pentti 2010):

- tuulettuva rakenne
- umpirakenne / heikosti tuulettuva rakenne
- käännetty rakenne
- sisäänpäin avoin rakenne

Suosituksena on suunnitella ja toteuttaa viherkatto joko tuulettuvana tai käännettynä kattorakenteena (RT 85-11205 2016). Viherkattorakenne voi olla myös kylmän rakenteen päällä. Tällöin kantavan alustan päällä on vedeneristyskerros, jonka päälle viherkerrokset toteutetaan. Kuvassa 4.1 on esitetty lämmöneristämätön viherkatto.



**Kuva 4.1.** Lämmöneristämätön viherkattorakenne

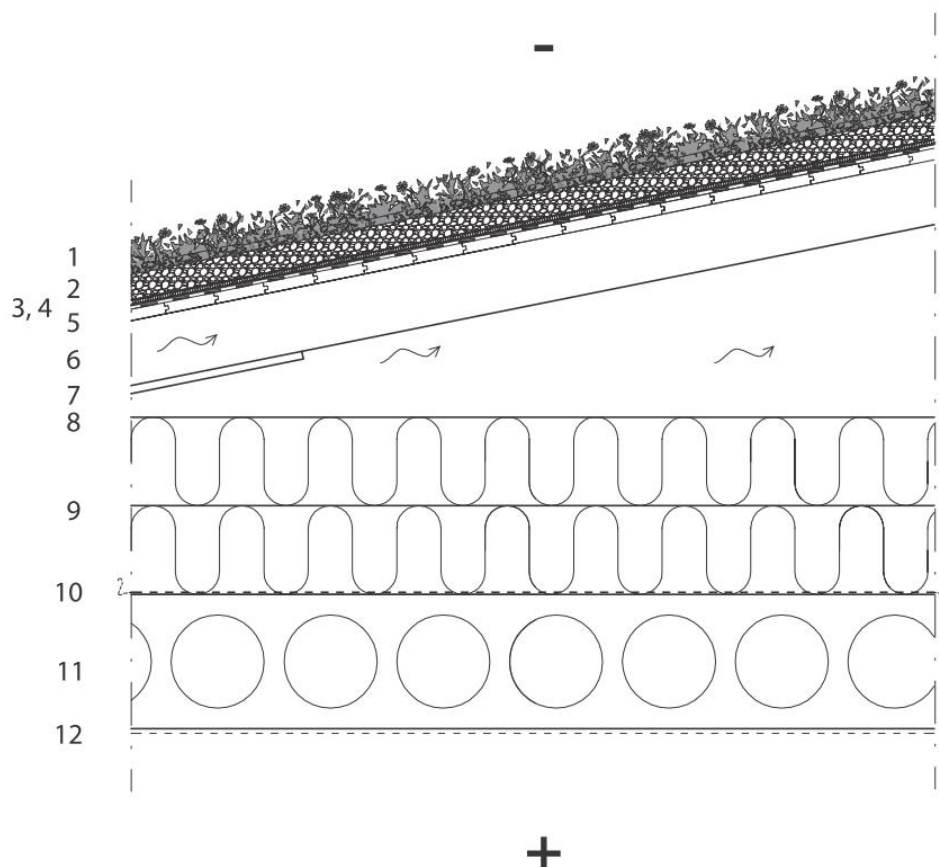
Kuvan 4.1 rakennetyypissä kantavan rakenteen päällä on viherkatoille tyypillisiä materiaalikerroksia: kattokasvillisuus, kasvualusta, suodatinkangas, salaojituskerros, vedeneristys. Nämä kerrokset löytyvät kaikista seuraavaksi esiteltävistä viherkattorakennetyypeistä. Kylmässä rakenteessa suositus on, että vedeneristys kiinnitetään kauttaaltaan alustaan: mahdollisten vuotojen paikallistaminen on näin helpompaa. Vedenpoisto vedeneristeen päältä varmistetaan sopivalla salaojituskerroksella, jolla on riittävä puristuslujuus (RIL 107-2012). Kaikkien viherkattorakenteiden tapaan vedeneristys pitää olla suojattu kasvien juuria vastaan.

## 4.1 Tuulettuva rakenne

Tuulettuvassa yläpohjassa rakennuskosteus ja sisäilmasta tuleva kosteus tuulettuvat yleensä hyvin ulos. Vesikatteen alapuoliset rakenteet päästään tarvittaessa tarkistamaan alapuolelta. Tämän tyyppisen yläpohjan toiminnan edellytyksenä on yläpohjan ilmatii-  
viys ja toimiva tuuletus. Lämmöneriste pitää tuulisuojata räystäillä. Eristeen tai sen ja ilmasulun väliin ei saa jäädä ilmarakojia. (Pentti 2010)

Jyrkät katot tehdään usein tuulettuvina. Jyrkkien kattojen kaltevuussuhde on suurempi kuin 1:10. Raja ei kuitenkaan ole niin selkeä: Toimivat katot 2013 -julkaisussa jyrkkinä kattoina käsitellään kattoja, joiden kaltevuus on suurempi kuin 1:20.

RT 85-11205 (2016) -ohjekortissa on esitetty rakennetyyppejä jyrkistä viherkatoista, joissa kantavan betonirakenteen päällä on tuuletustila ja puurakenteiset vesikattorakenteet (kuvat 4.2 ja 4.3). Toinen ohjekortin rakennetyypeistä on maksaruohokatto, joka on tuulettuvan lauta- tai rakennuslevyalustan päällä. Alla on tuuletustila ja lämmöneristetty kantava rakenne. Kaltevuudeksi on mainittu 1:5...1:10.



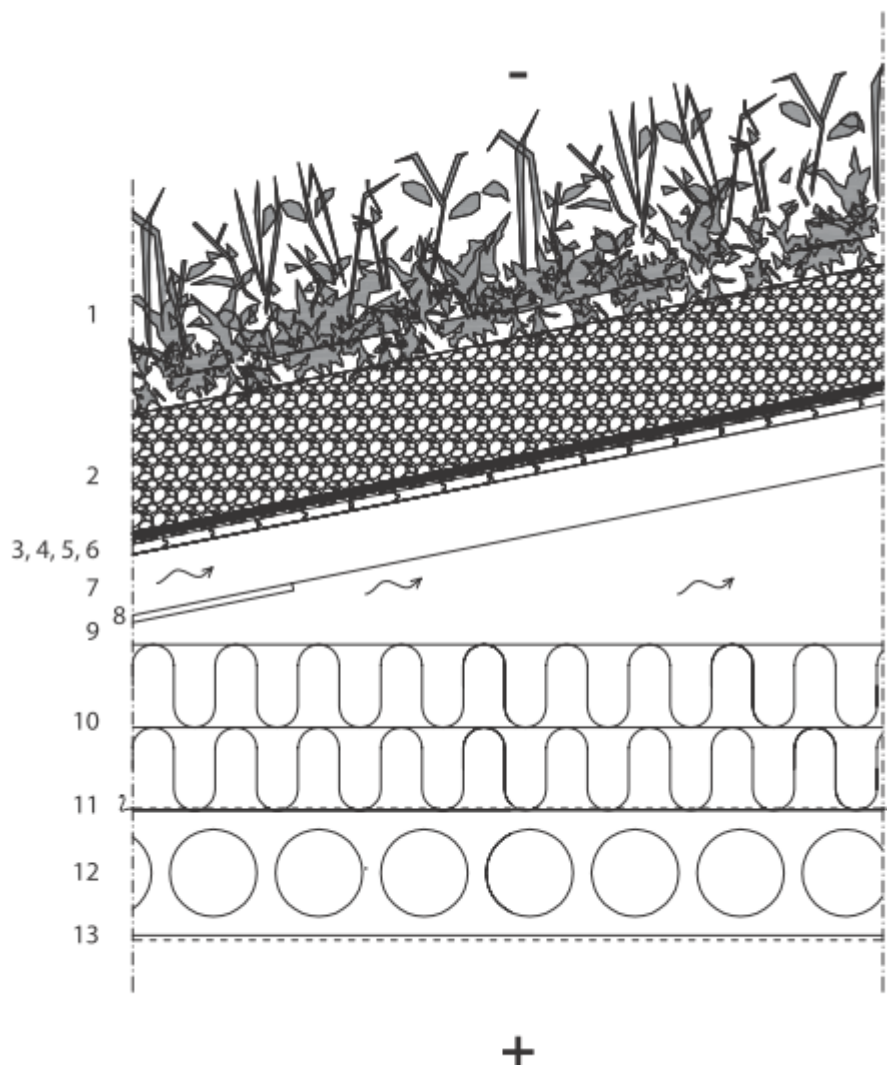
**Kuva 4.2.** Tuulettu viherkattorakenne, maksaruohokatto (RT 85-11205 2016)

Kuvan 4.2 maksaruohokaton rakenne ylhäältä alaspäin on:

1. Maksaruohokatto/maksaruohokaton kasvillisuus
2. Viherkaton kasvualusta
3. Salaojamatto, molemmiin puolin suodatinkankaalla päällystetty
4. Juurisuojakermi + TL2 + TL2 aluskermi
5. Ponttilauta-alusta tai soveltuva rakennuslevyalusta
6. Kattokannattajat rakennesuunnitelmien mukaan
7. Reuna-alueilla kattokannattajan yläpaarten alapinnassa tuulenohjain n.1,2 m ulkoseinältä
8. Tuulettu ilmatila rakennesuunnitelmien mukaan (>100 mm)
9. Lämmöneriste
10. Höyrynsulku, BH1
11. Kantava rakenne rakennesuunnitelmien mukaan

## 12. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan

Toinen RT 85-11205 -ohjeessa (2016) esitetyistä jyrkistä viherkatoista on kuvassa 4.3 näkyvä heinäkatto.



**Kuva 4.3.** Tuuletettu viherkattorakenne, heinäkatto (RT 85-11205 2016)

Kuvan 4.3 heinäkaton rakennetyyppi ylhäältä alaspäin on:

1. Heinäkasvillisuus
2. Viherkaton kasvualusta tai kattoturve
3. Vettä pidättävä kerros, esimerkiksi polypropyleenikuitumatto
4. Salaojamatto, molemmilla puolilla suodatinkankaalla päällystetty
5. Juurisuojakermi + TL2 + TL2 aluskermi
6. Ponttilauta-alusta tai soveltuva rakennuslevyalusta, paksuus rakennesuunnitelmien mukaan
7. Kattokannattajat rakennesuunnitelmien mukaan

8. Reuna-alueilla kattokannattajan yläpaarteen alapinnassa tuulenohjain n. 1,2 m ulkoseinältä
9. Tuuletettu ilmatila rakennesuunnitelmien mukaan (>100 mm)
10. Lämmöneriste
11. Höyrynsulku, BH1
12. Kantava rakenne rakennesuunnitelmien mukaan
13. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan

RT 85-11205 (2016) -ohjeessa esitettyjen jyrkkien kattojen rakenteet poikkeavat toisistaan vain kattojen viherosuudelta. Kummassakin rakennetyypissä viherkaton puualustan päällä on alhaalta ylöspäin kuvattuna aluskermi, juurisuojakermi ja salaojamatto. Salaojamatto on päällystetty kummaltakin puolelta suodatinkankaalla. Tällä estetään kasvualustan materiaalien kulkeutuminen alemmas rakenteeseen. Maksaruohokatto vaatii vain ohuen kasvualustan, jonka päällä katon kasvillisuus on. Heinäkasvillisuus vaatii paksumman kasvualustan, jonka alla on lisäksi vettä pidättävä kerros.

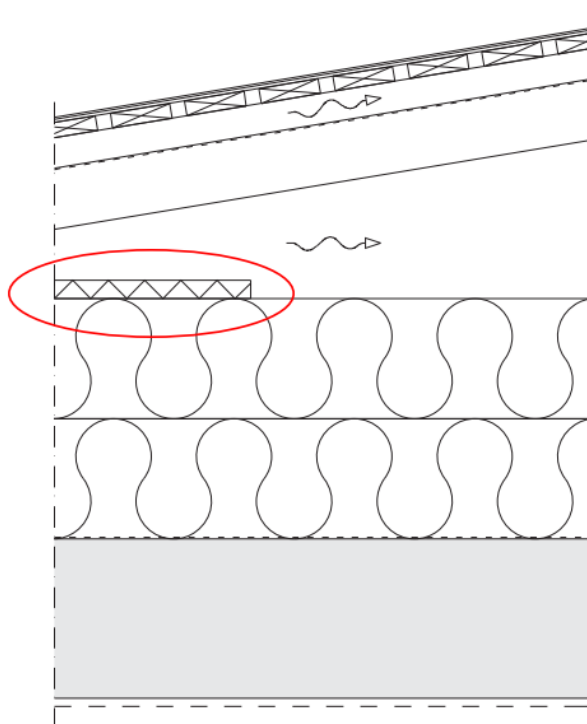
Vedeneristeen alustaksi on ehdotettu ponttilauta-alustaa tai soveltuvaa rakennuslevyalustaa. Levyalustana voidaan käyttää esimerkiksi kosteutta kestävää ja homesuojattua rakennuslevyä, kuten säänkestävästi liimattua vaneria. Kattoliiton Toimivat katot 2013 -ohjeessa on taulukoitu puualustojen minimivahvuudet, jotka esitetään taulukossa 4.1.

**Taulukko 4.1.** Katon vedeneristeen puualustojen minimivahvuudet (Toimivat katot 2013)

<b>Tukiväli <i>k</i> [mm]</b>	<b>Raakaponttilaudan paksuus [mm]</b>	<b>Vanerin paksuus [mm]</b>
600	20	15
900	23	15
1200	28	19

Taulukko 4.1 koskee kattoja, joita kuormittaa 2,0 kN/m<sup>2</sup> lumikuorma ja 1,0 kN pistekuorma. Viherkaton alustan tukena pitää tarvittaessa käyttää pientä tukiväliä ja alustana paksumpaa lautaa tai vaneria.

Kuvien 4.2 ja 4.3 rakennetyypeissä on mainittu kattokannattajien yläpaarteen alapinnan tuulenohjaimista: nämä voi korvata lämmöneristeen päälle asennettavalla 1,2 m leveällä tuulensuojareunakaistalla (RT 83-11010 2010). Kuvassa 4.4 on esitetty tuulensuojan sijainti yläpohjassa.



**Kuva 4.4.** Yläpohjan tuulensuoja, 1,2 m leveä reunakaista (RT 83-11010 2010)

Kuvien 4.2 ja 4.3 kattorakennetyypeissä vaakasuoran, lämmöneristetyt yläpohjan ja kallistetun vesikaton väliin jää tuuletettu ilmatila. Tämän kerroksen lämmönvastuksena voidaan käyttää arvoa  $0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 luonnos 2012). Kattokannattajien kylmäsiltaavaikutus pitää ottaa huomioon. Vaikutus on tarkistettava tapauskohtaisesti. Arvioitaessa katon lämmönläpäisykerrointa, kattokannattajien kylmäsiltaavaikutuksena voidaan käyttää  $0,01 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Yläpohjan eristeenä voidaan käyttää esimerkiksi mineraalivillalevyjä tai puhallettua kuitueristettä, kuten mineraalivillaa tai puukuitua (RT 83-11010 2010).

Taulukoissa 4.2 ja 4.3 on arvioitu yläpohjaan vaadittavia eristepaksuuksia, jotta RakMK D3 (2011) vertailuarvon vaatimus täyttyy. Arvot on laskettua kaavoilla 3.14, 3.15 ja 3.16 huomioimatta lämmöneristeen alapuolista rakennetta.



**Taulukko 4.2.** Tuuletetun yläpohjan lämmönläpäisykertoimen laskenta, mineraalivilla

<b>Rakennekerros</b>	<b>Paksuus, <math>d</math> [mm]</b>	<b>Lämmönjohtavuus, <math>\lambda_d</math> [W/(mK)]</b>	<b>Lämmönvastus, <math>R</math> [m<sup>2</sup>K/W]</b>
Sisäpuolen pintavastus	435	0,036	0,10
Ulkopuolen pintavastus			0,04
Ilmatila			0,30
Mineraalivilla			12,08
		<b><math>R_T</math></b>	12,52
		<b><math>U</math></b>	0,08
		<b><math>\Delta U</math></b>	0,01
		<b><math>U_c</math></b>	<b>0,09</b>

**Taulukko 4.3.** Tuuletetun yläpohjan lämmönläpäisykertoimen laskenta, puhallettu kuitueriste

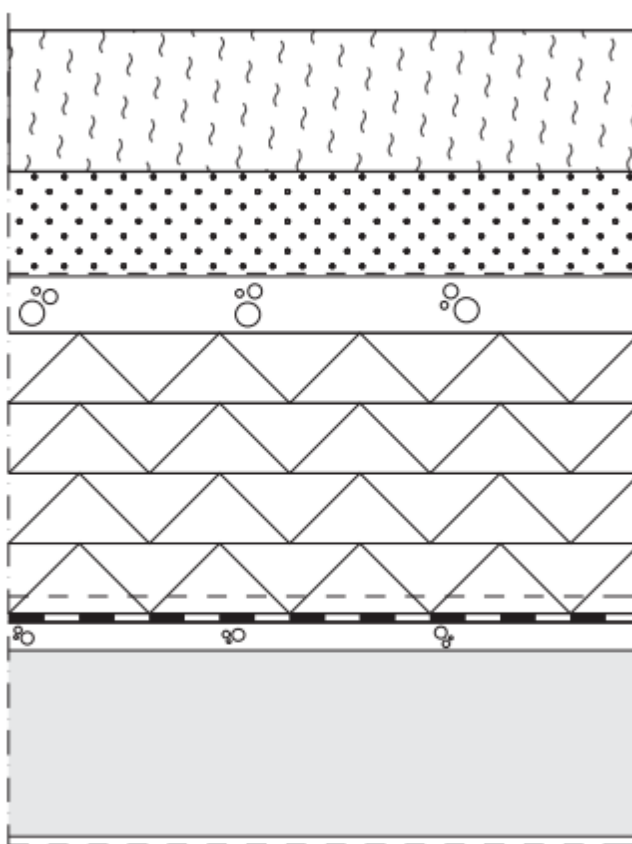
<b>Rakennekerros</b>	<b>Paksuus, <math>d</math> [mm]</b>	<b>Lämmönjohtavuus, <math>\lambda_d</math> [W/(mK)]</b>	<b>Lämmönvastus, <math>R</math> [m<sup>2</sup>K/W]</b>
Sisäpuolen pintavastus	600	0,050	0,10
Ulkopuolen pintavastus			0,04
Ilmatila			0,30
Puhallettu kuitueriste			12,00
		<b><math>R_T</math></b>	12,44
		<b><math>U</math></b>	0,08
		<b><math>\Delta U</math></b>	0,01
		<b><math>U_c</math></b>	<b>0,09</b>

Tämäntyyppisissä tuuletetuissa yläpohjissa lämmöneristyksen lisääminen vaatimusten kiristymisen takia on alentanut tuuletustilojen lämpötilaa. Kirkkaina öinä on mahdollista, että taivaalle lähtevä lämpösäteily jäähdyyttää vesikatteen kylmemmäksi kuin ulkolämpötila. Tuuletustilan lämpimämpi ilma voi näin tiivistyä vesikatteen alle ja luoda homeen kasvulle paremmat olosuhteet, joten viherkaton alustana tuuletetussa yläpohjassa on perusteltua käyttää kosteutta hyvin kestävästä materiaalista. Tavallisella katolla tuuletustilan toimintaa voidaan parantaa lämpöä eristävällä aluskatteella (Vinha 2012). Viherkatolla kattokasvillisuus ja kasvualusta varaavat enemmän lämpöä ja lämmöneristävät vesikattoa. Lämpöä on varastoituneena katon viherosaan, jolloin lämpötilan muutos ei ole niin nopeaa. Tuuletustilan kosteustekninen toiminta paranee näistä syistä (Junttila 2015).

## 4.2 Käännetty rakenne

Käännetyn rakenteen etuna on, että vedeneristys on suojassa lämmöneristeen alla. Vedeneristyksen lämpöliikkeet pysyvät pieninä eikä katolla liikkuminen vaurioita vedeneristettä. Toisaalta kattopuutarhoissa kasvualustan rakennepaksuus voi olla jopa 500 - 900 mm lämmöneristeen päällä, jolloin vedeneristeen mahdolliset viat ovat hyvin vaikeita paikallistaa ja korjata (RT 85-10709 1999). Käännetty rakenne vaatii täysin vesi-tiiviin vedeneristyksen, vettymättömän ja kuormitusta kestävän lämmöneristeen sekä huolellisesti suunnitellut ja toteutetut liitosrakenteet (Pentti 2010). Rakenteen toiminnan kannalta tehokas vedenpoisto vedeneristeen päältä on myös hyvin tärkeää.

Kuvassa 4.5 on RT 83-11010 (2010) -ohjekortissa esitetyn käännetyn katon rakennetyyppi, jonka päällimmäisenä kerroksena on multakerros.



**Kuva 4.5.** Käännetyn katon rakenne, päällä multakerros (RT 83-11010 2010)

Kuvan 4.5 yläpohjarakennetyypin rakennekerrokset ylhäältä alaspäin ovat:

≥ 200 mm	Ulkotason pinta, rakennusselostuksen tai istutussuunnitelman mukainen ruokamultakerros
	Suodatinkangas
≥ 150 mm	Salaojituseros, kevytsora
	Juurisuoja
80 mm	Teräsbetoni-laatta, pinta BY 45, luokka C-4-35
	Suodatinkangas

400 mm	Lämmöneriste, suulakepuristettu polystyreeni, $\lambda_d=0,037$ W/mK, uritus tai vedenpoistokerros
	Vedeneriste, käyttöluokka vähintään VE 80
$\geq 20$ mm	Kallistusbetoni, luokka vedeneristeen vaatimusten mukaan, puuhierto, kallistus vähintään 1:80
	Kantava betonirakenne
	Kattopinta ja pintakäsittely, huoneselosteen mukaan, vesihöyryä läpäisevä

Kuvan 4.5 käännetty katto vastaa sisältä päin lähdetessä lämmöneristeen päällä olevaan 80 mm teräsbetonilaattaan asti samassa ohjeessa esitettyä kevyesti liikennöidyn tason, esimerkiksi autohallin päällä olevan rakennuksen pihan, rakennetyyppejä. Teräsbetonilaatan päällä on viherkatolle tarvittavia rakennekerroksia: juurisuoja, salaojituskerros ja multakerros. Ohjeessa mainitaan, että käytettäessä juurisuojusta vedeneristettä salaojituskerroksen alla oleva juurisuoja voidaan poistaa. Juurisuojana käytettyä materiaalia ei ole kerrottu. Jos kerroksena käytetään juurisuojusta bitumikermiä, jollaista käytetään myös vedeneristeenä, rakenne muistuttaa suljettua rakennetta. Toimivat katot 2013 -ohjeen mukaan suljettua rakennetta ei suositella käytettäväksi. Toisaalta viherkaton pintakerrokset estävät rakennetta muutenkin kuivumasta ylöspäin. Rakenteen sisällä vesi valuu alaspäin vedeneristyskerroksen päälle, josta se pitää poistaa.

Kattorakenteen suuntaa antavaksi lämmönläpäisykertoimeksi on ohjekortissa annettu  $0,09$  W/m<sup>2</sup>K, joka vastaa RakMK osan D3 vaatimuksia. Tässä arvossa ei ole huomioitu kevytsora- eikä multakerrosta. Taulukossa 4.4 on kaavojen 3.14, 3.15 ja 3.16 avulla arvioitu rakenteen U-arvoa.

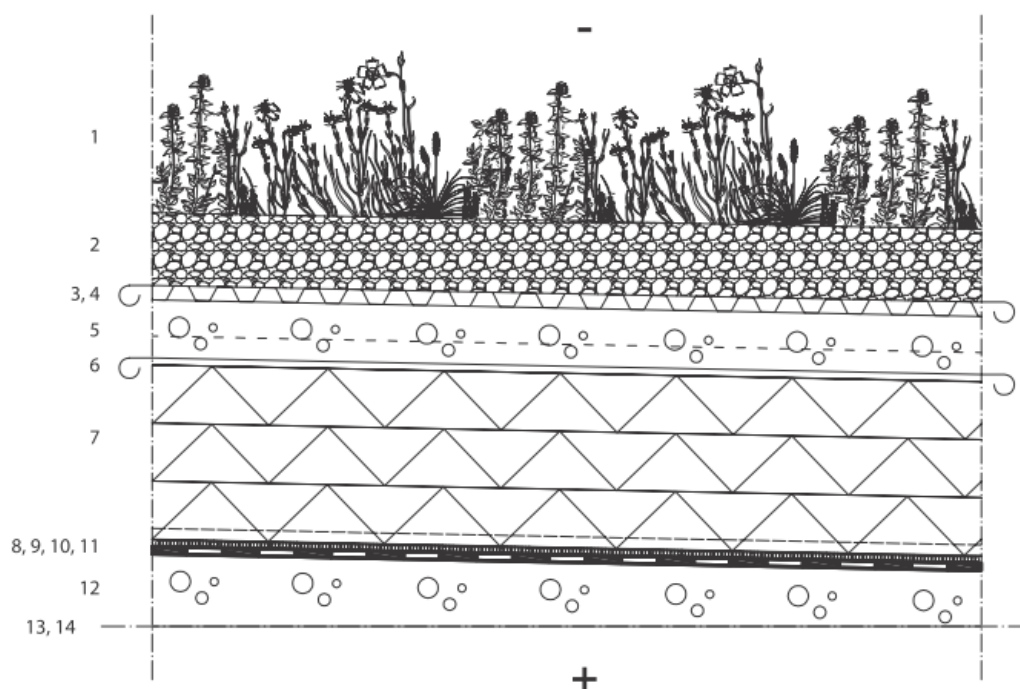
**Taulukko 4.4.** Käännetyn katon lämmönläpäisykertoimen laskenta

Rakennekerros	Paksuus, $d$ [mm]	Lämmönjohtavuus, $\lambda_d$ [W/(mK)]	Lämmönvastus, $R$ [m <sup>2</sup> K/W]
Sisäpuolen pintavastus			0,10
Ulkopuolen pintavastus			0,04
Kallistusbetoni	20	2,00	0,01
Kumibitumikermi	15	0,23	0,07
XPS	400	0,037	10,81
Betonilaatta	80	2,50	0,03
		$R_T$	11,06
		$U$	0,090
		$\Delta U_r$	0,010
		$U_c$	0,100

Korjaustekijänä,  $\Delta U_r$  on käytetty RakMK C4 luonnoksen (2012) mukaista käännetyn katon korjaustekijää. U-arvoksi on saatu  $0,10$  W/m<sup>2</sup>K, joka ei vastaa RT 83-11010 -

ohjeessa (2010) ilmoitettua arvoa. Laskelmassa pitäisi huomioida myös kantava betoni-rakenne sekä betonilaatan päällä oleva kevytsorakerros ja tehdä tarkempi tarkastelu kor-jaustermille, jotta laskennallisesti päästäisiin arvoon  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Karkeassa laskelmas-sa 30 mm lisäys eristepaksuuteen pudottaisi arvon  $0,09$ :ään.

RT 85-11205 (2016) -ohjekortissa esitetään esimerkkejä loivista viherkattotyypeistä. Kuvassa 4.6 on ohjeen mukainen kattopuutarhan käännetty vesikattorakennetyyppi.



**Kuva 4.6.** Käännetty katto, kattopuutarha (RT 85-11205 2016)

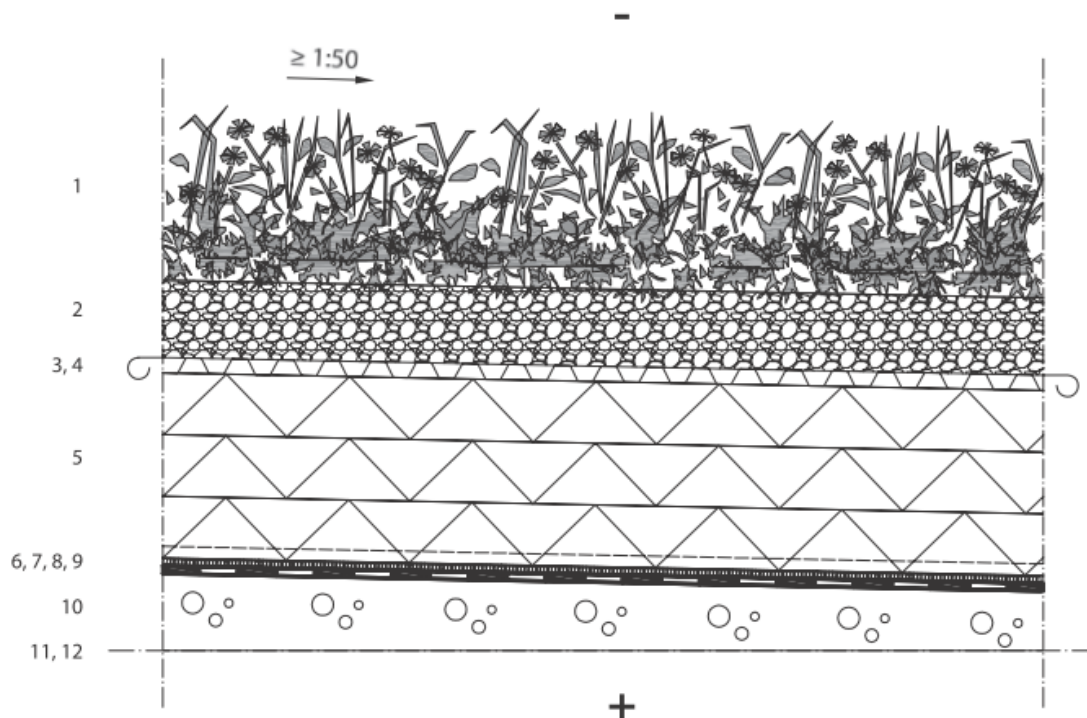
Kuvan 4.6 käännetyn katon rakenne ylhäältä alaspäin on:

1. Kattopuutarhan kasvillisuus
2. Viherkaton kasvualusta
3. Suodatinkangas tai vettä pidättävä kerros
4. Kasvualustan salaojitus: salaojittava, vettä pidättävä levy
5. Teräsbetonilaatta, tarvittaessa
6. Suodatinkangas, käyttöluokka K2 tai N2, limitys  $> 200 \text{ mm}$
7. Lämmöneristys rakennesuunnitelman mukaan
8. Vedeneristeen yläpinnan salaojitus, salaojamatto, päällystetty molemmin puolin suodatinkankaalla
9. Juurisuojakermi
10. Vedeneristys, 3 x kumibitumikermi TL 2 kauttaaltaan liimaten tai hitsaten
11. Kumibitumiliuossively
12. Kallistusbetoni; puuhierto, sementtiliiman poisto sinkopuhdistuksella, kaltevuus 1:20...1:50

13. Kantava betonirakenne rakennesuunnitelman mukaan

14. Pintakäsittely huoneselityksen mukaan

RT 85-11205 (2016) -ohjekortissa on myös esimerkkirakenne käännetyistä katosta, jonka päällä on keto/niittykatto. Tämä rakennetyyppi on esitetty kuvassa 4.7.



**Kuva 4.7.** Käännetty katto, keto/niittykasvillisuus (RT 85-11205 2016)

Kuvan 4.7 käännetyin katon rakenne ylhäältä alaspäin on:

1. Niitty-/ketokasvillisuus
2. Viherkaton kasvualusta
3. Suodatinkangas
4. Kasvualustan salaojitus: salaojittava, vettä pidättävä levy
5. Lämmöneristys rakennesuunnitelman mukaan
6. Vedeneristeen yläpinnan salaojitus, salaojamatto, päällystetty molemmin puolin suodatinkankaalla
7. Juurisuojakermi
8. Vedeneristys, 3 x kumibitumikermi TL 2 kauttaaltaan liimaten tai hitsaten
9. Kumibitumiliuossively
10. Kallistusbetoni; puuhierto, sementtiliiman poisto sinkopuhdistuksella, kaltevuus 1:20...1:50
11. Kantava betonirakenne rakennesuunnitelman mukaan
12. Pintakäsittely huoneselityksen mukaan

Kuvien 4.6 ja 4.7 rakennetyypit poikkeavat hieman ensimmäisenä esitetystä RT 83-11010 (2010) mukaisesta käännetyistä katosta. Vedenpoistoratkaisua on muutettu. Kasvualustan salaojituseros on muutettu kevytsorakerroksesta salaojittavaan, vettä pidättävään levyyn. Salaojalevy toimii myös lämmöneristeen mekaanisena suojana, varsinkin kuvan 4.7 rakennetyypissä, jossa ei ole erillistä teräsbetonipintalaattaa lämmöneristeen päällä. Kuvan 4.6 käännetyssä kattorakenteessa lämmöneristeen päällä oleva teräsbetonilaatta suojaa lämmöneristekerrosta katolla liikkumisen aiheuttamilta rasituksilta. Samalla betonilaatta kuitenkin lisää lämmöneristeen pitkäaikaista kuormitusta ja asettaa näin lämmöneristeen kuormituskestävyydelle lisävaatimuksia. Kummassakin rakennetyypissä vedeneristeen yläpuolinen vedenpoisto on varmistettu salaojamatolla lämmöneristeen alapinnan tuuletusurien lisäksi. Tämä parantaa rakenteen toimintaan verrattuna RT 83-11010 -kortissa (2010) esitettyyn ratkaisuun.

Sadeveden lisäksi kosteutta siirtyy rakenteeseen diffuusiolla. Taulukossa 4.5 on arvioitu rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa talvella, kun sisälämpötilaksi on valittu +20 °C ja ulkolämpötilaksi -20 °C. Sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 50 % RH. Ulkoilman suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 90 % RH. Viherosalle on oletettu ulkoilmaa vastaava lämpötila ja huokosilman suhteellinen kosteus.

**Taulukko 4.5.** Käännetyin katon lämpö- ja kosteustekninen toiminta talvella

<b>Materiaalikerros</b>	<b>d</b> [mm]	<b>R</b> [m <sup>2</sup> K/W]	<b>t</b> [°C]	<b>v<sub>sat</sub></b> [g/m <sup>3</sup> ]	<b>Z<sub>v</sub></b> [10 <sup>3</sup> s/m]	<b>v</b> [g/m <sup>3</sup> ]	<b>φ</b> [% RH]
Sisäilma			20	17,3		8,6	50
Sisäpinta		0,1	19,6	16,9		8,6	50,9
Betoni	265	0,1	19,3	16,6	400	7,9	47,6
Vedeneriste			19,3	16,6	3500	1,7	10,3
Lämmöneriste	400	10,8	-19,7	0,9	400	(1,0)	100
Betonilaatta	80	0,03	-19,9	0,9	120	0,8	92,0
Ulkopinta		0,04	-20,0	0,9		0,8	92,0
Ulkoilma			-20	0,9		0,8	90
Yhteensä		11,076			4420		

Taulukossa 4.5 d on rakennekerroksen paksuus, R on kerroksen lämmönvastus, t on lämpötila kerrosten rajapinnassa, v<sub>sat</sub> on veden kyllästyspitoisuus kyseisessä lämpötilassa, Z<sub>v</sub> on kerroksen vesihöyrynvastus, v on huokosilman vesihöyrypitoisuus kerrosten rajapinnassa ja φ kerroksen suhteellinen kosteus v/v<sub>sat</sub>. Lämpötilat kerrosten rajapinnoissa on arvioitu sisä- ja ulkolämpötilan erosta kerrosten lämmönvastusten suhteissa. Huokosilman vesihöyrypitoisuus kerrosten rajapinnassa on saatu vastaavasti kerrosten vesihöyrynvastusten suhteilla. Kerrosten lämmönvastukset ja vesihöyrynvastukset sekä vesihöyryn kyllästyspitoisuuksien arvot on kerätty kirjallisuudesta. Taulukon viimeisestä sarakkeesta nähdään, että rakenteeseen kertyy hieman kosteutta talviolosuhteissa, kun kosteutta siirtyy sisäilmasta ulospäin. Kesällä kosteuden siirtyminen diffuusiolla tapahtuu toiseen suuntaan, jos ajatellaan että salaojakerroksen huokosilman vesihöyrypitoi-

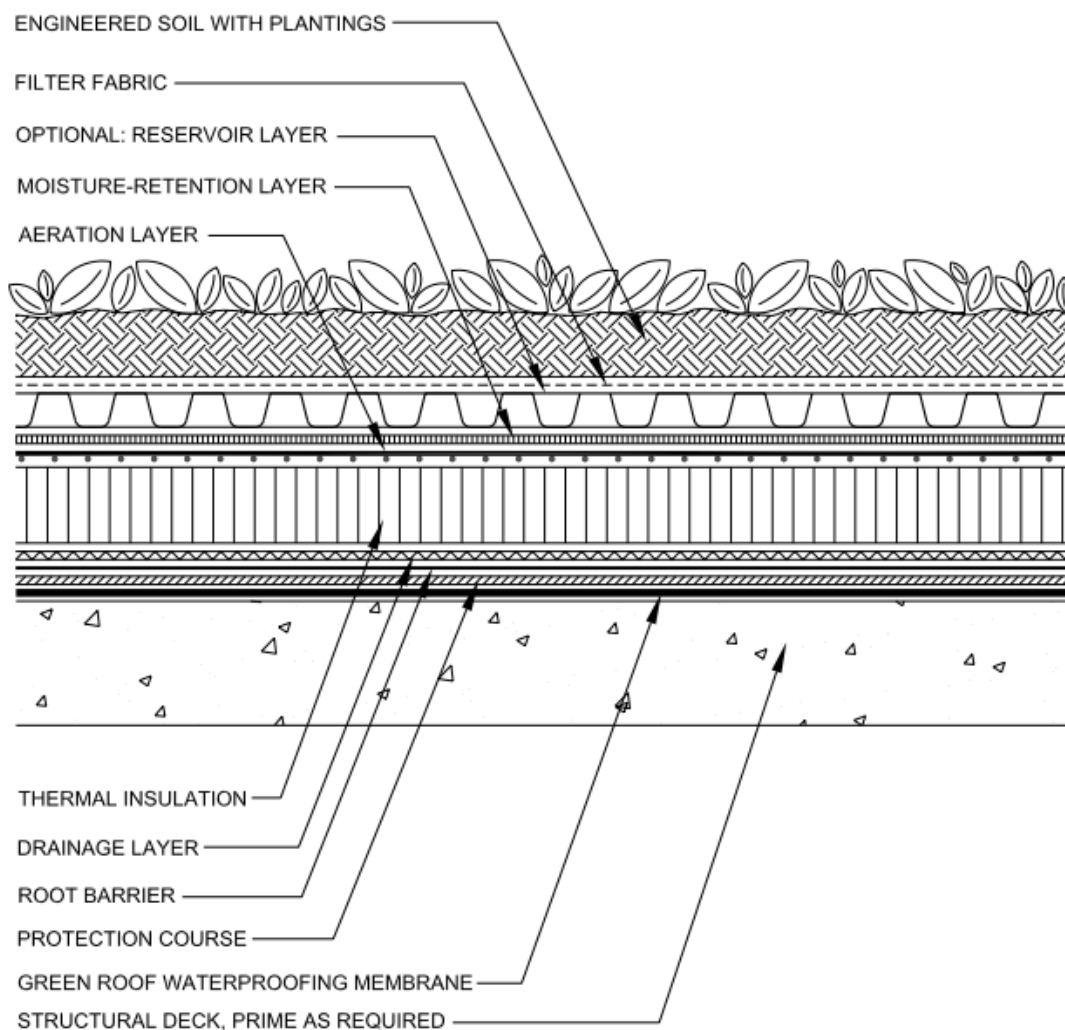
suus on vesihöyryn kyllästyspitoisuudessa. Taulukossa 4.6 on arvioitu rakenteen toimintaa tällaisissa olosuhteissa. Sisä- ja ulkolämpötilaksi on valittu +20 °C. Sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 75 % RH.

**Taulukko 4.6.** Käännetyn katon lämpö- ja kosteustekninen toiminta kesällä

<b>Materiaalikerros</b>	<b><math>d</math> [mm]</b>	<b><math>R</math> [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b><math>t</math> [°C]</b>	<b><math>v_{sat}</math> [g/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>Z_v</math> [10<sup>3</sup> s/m]</b>	<b><math>v</math> [g/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>\varphi</math> [% RH]</b>
Sisäilma			20	17,3		13	75
Sisäpinta		0,1	20,0	17,3		13	75,1
Betoni	265	0,1	20,0	17,3	400	13,4	77,4
Vedeneriste			20,0	17,3	3500	16,8	97,1
Lämmöneriste	400	10,8	20,0	17,3	400	17,2	99,3
Betonilaatta	80	0,03	20,0	17,3	120	17,3	100
Ulkopinta		0,04	20,0	17,3		17,3	100
Yhteensä		11,076			4420		

Saksalaisen tutkimuksen mittausten mukaan viherkaton, jossa on 80 mm paksu kasvualusta ja vettä pidättävä kerros, kasvualustan alla ilman suhteellinen kosteus pysyy lähes aina lähellä 100 % RH (Zirkelbach et al. 2010). Taulukossa 4.6 ulkopinta on viherkaton kasvualustan alla. Ulkopinnan suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 100 % RH.

Suomalaisten ohjeiden tapaan myös ulkomaisissa lähteissä loiville viherkatoille suositellaan käännettyä kattorakennetta. Yhdysvaltalaisen Kansallisten kattourakoitsijoiden yhdistyksen ohjeen (Bechtel et al. 2007) mukaan käännetty kattorakenne on ainut suositeltava tapa toteuttaa viherkatto. Kuvassa 4.8 on esitetty ohjeen mukainen viherkattorakennetyyppi.



**Kuva 4.8.** Ekstensiivinen viherkatto, käännetty rakenne (Bechtel et al. 2007)

Kuvan 4.8 käännetyn katon rakenne ylhäältä alaspäin on:

1. Kasvualusta ja kasvillisuus
2. Suodatinkangas
3. Vettä varastoiva kerros
4. Kosteutta pidättävä kerros
5. Tuuletuskerros
6. Lämmöneristys
7. Salaojitus / kuivatuskerros
8. Juurisuoja
9. Vedeneristeen suojakerros
10. Vedeneriste
11. Kantava betonialusta

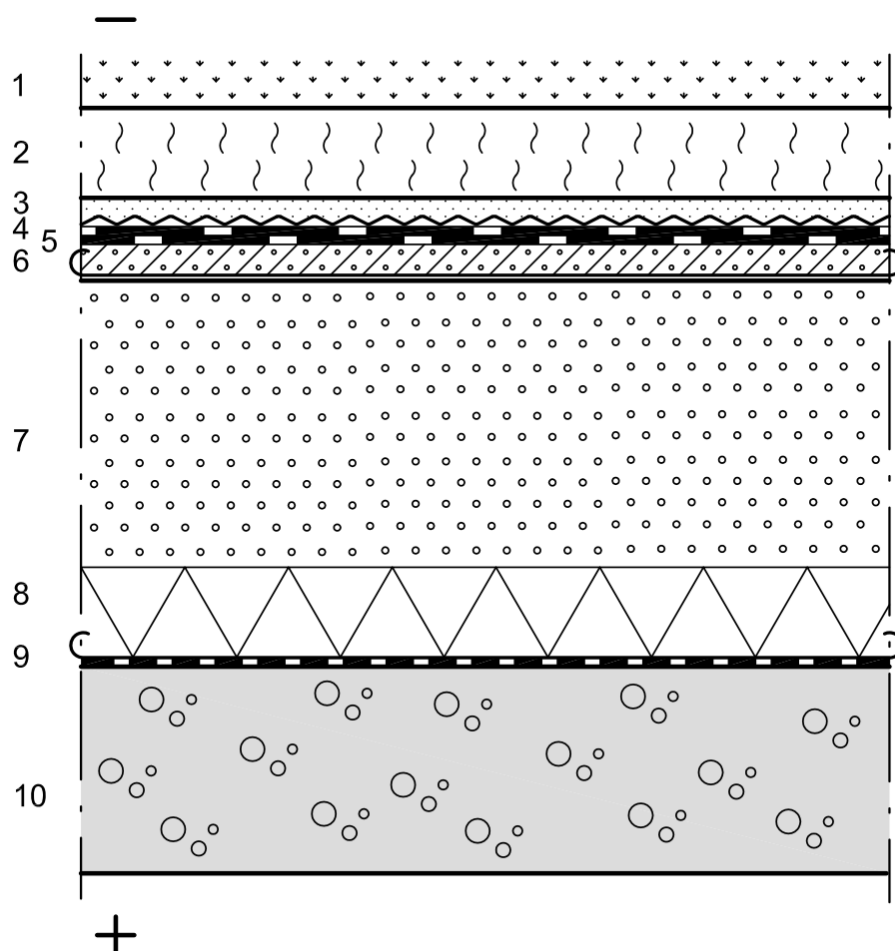
Kuvan 4.8 rakennetyypissä on enemmän materiaalikerroksia kuin suomalaisen ohjeen (RT 85-11205 2016) mukaisessa käännettyssä viherkattorakenteessa. Kasvien riittä-



vää vedensaintia varten kuvan 4.8 kattorakenteessa kasvualustan alla on vettä varastoi-  
va kennosto, jonka alla on vettä pidättävä matto. Eristeen yläpuolella on tuuletuskerros,  
jonka tarkoitus on poistaa kosteutta lämmöneristekerroksesta. Lämmöneristemateriaa-  
liksi ohjeessa suositellaan XPS-eristeitä niiden hyvän puristuslujuuden vuoksi. Juu-  
risuojan lisäksi vedeneristekerroksen päällä on erillinen suojakerros.

### 4.3 Vähän tuulettuva rakenne ja umpirakenne

Käännetty kattorakenne ei ole ainut vaihtoehto loivan viherkaton rakennetyypiksi. Ke-  
vytsorakatto on kerrostaloissa hyvin yleisesti käytetty rakennetyyppi loivilla katoilla. Se  
voidaan luokitella vähän tuulettuvaksi rakenteeksi. Kattorakenteen tuuletus tapahtuu  
painovoimaisesti räystäiden kautta ja mahdollisesti katolle asennettujen alipainetuulet-  
timien avulla (Rakentamisen kosteudenhallinta 2015). Kuvassa 4.9 esitetään kevytsora-  
katon päälle rakennetun viherkaton rakennetyyppi.



**Kuva 4.9.** Kevytsoraviherkaton rakennetyyppi (Leca-kevytsorakatot, suunnitteluohjeet 2010)

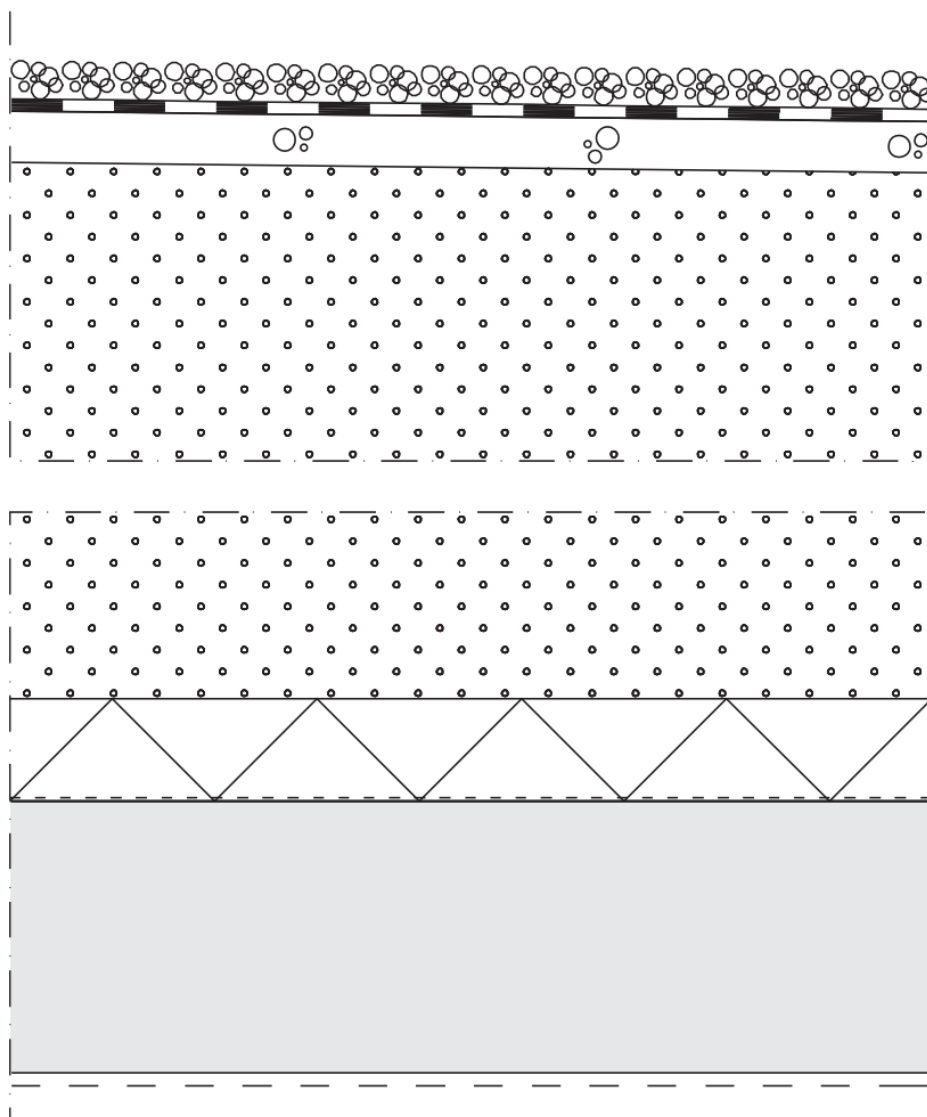
Kuvan 4.9 viherkaton rakennetyyppi ylhäältä alaspäin on:

1. Kasvillisuus
2. Kattomulta
3. Salaojituserros

4. Juurisuojattu pintakermi
5. Kumibituminen aluskermi
6. Leca-katelaatta tai betonilaatta
7. Leca-sora lämmöneriste, tuuletettu
8. Lämmöneriste, polystyreeni tai polyuretaani
9. Höyrynsulku, kumibitumikermi TL2 (K-MS 170/3000)
10. Kantava rakenne

Kuvan 4.9 rakennetyypissä vedeneristys on asennettu lämmöneristeen päälle. Toimivat katot 2013 -ohjeen mukaan tämäntyyppinen rakenne on riskialtis, kun on kyse pihakansista, terasseista tai parvekkeista. Viherkatolle, jossa pääsee vapaasti liikkumaan, tämä rakennetyyppi ei siis ole suositeltava. Tämän tyyppistä rakennetta ei myöskään esitellä viherkattojen rakenteita käsittelevässä RT 85-11205 (2016) -ohjekortissa.

Kuvan 4.9 rakennetyyppi on periaatteellinen eikä siinä ole esitetty eri ainekerrosten paksuuksia tai mitoitusarvoja. Vedeneristyskerrokseen asti rakennetyyppi vastaa RT 83-11010 (2010) -ohjeen kattorakennetta, jossa on kantava betonirakenne, kevytsoraeriste ja vedeneristeenä bitumikermikate. Tämä on esitetty kuvassa 4.10.



**Kuva 4.10.** Kevytsoraeristetyn loivan katon rakennetyyppi (RT 83-11010 2010)

Kuvan 4.10 katon rakennetyyppi ylhäältä alaspäin on:

$\geq 30$ mm	Suojakiveys, $\varnothing$ 8...20 mm, 35 kg/m Bitumikermikate, rakennesuunnitelman mukaan, käyttöluokka vähintään VE 40
$\geq 40$ mm	Teräsbetoniaatta, puuhierto, kallistus vähintään 1:40, sementin määrä enintään 250 kg/m <sup>3</sup> Suodatinkangas, tarvittaessa
$\geq 750$ mm	Lämmöneriste, kevytsoralajite ks 420K, $\lambda_{\text{Design}}=0,100$ W/mK
100 mm	Lämmöneriste, polystyreeni 100 mm, $\lambda_{\text{Design}}=0,031$ W/mK Höyrynsulku, rakennesuunnitelman mukaan, saumat höyrytiivit Kantava betonirakenne, rakennesuunnitelman mukaan Kattopinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan, vesihöyryä läpäisevä

Kuvan 4.10 rakennetyypissä vedeneriste on käyttöluokan VE 40 bitumikermikate. Toteutettaessa viherkatto tämän rakennetyypin pohjalta vedeneriste on vaihdettava vastaamaan viherkatolle vaadittavaa vedeneristystä, jonka päälle katon viherosa rakennetaan. Tällaisenaan yläpohjarakenteen paksuus on 1160 mm, jos kantavana betonirakenteena on yleisesti yläpohjissa käytetty 265 mm paksu O27 ontelolaatta. Lisättäessä rakenteeseen viherkaton kerrokset sen paksuus voi olla jopa 1,5 metriä. Viherkerrosten paino pitää huomioida: lämmöneristeen pitää kestää koko ylemmän rakenteen pitkäaikainen kuormitus. Rakennuksen julkisivuilla näin paksut rakennekerrokset vaativat myös tarkastelua: vesikattoelementtien liitoksissa kerrosten aiheuttama lisäkuorma pitää huomioida.

Kattorakenteen suuntaa antavaksi lämmönläpäisykertoimeksi on ohjekortissa annettu  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ , joka vastaa RakMK osan D3 (2011) vaatimuksia yläpohjan lämmöneristävyydelle. Tämä on tarkastettu taulukossa 4.7. Arvot on laskettu luvussa 3 esitetyillä kaavoilla 3.14, 3.15 ja 3.16. Kantavaa betonirakennetta ei ole huomioitu laskelmassa.

**Taulukko 4.7.** Kevytsorakaton lämmönläpäisykertoimen laskenta

<b>Rakennekerros</b>	<b>Paksuus, <math>d</math> [mm]</b>	<b>Lämmönjohtavuus, <math>\lambda_d</math> [W/(mK)]</b>	<b>Lämmönvastus, <math>R</math> [<math>\text{m}^2\text{K/W}</math>]</b>
Sisäpuolen pintavastus			0,10
Ulkopuolen pintavastus			0,04
Kumibitumikermi	15	0,23	0,07
Betonilaatta	40	2,50	0,02
Kevytsoralämmöneriste	750	0,10	7,50
Polystyreenilämmöneriste	100	0,03	3,23
		<b><math>R_T</math></b>	<b>10,95</b>
		<b><math>U</math></b>	<b>0,09</b>
		<b><math>U_c</math></b>	<b>0,09</b>

Taulukkoon 4.8 on laskettu karkea arvio kuvan 4.10 rakenteen lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta talviolosuhteissa, kun sisälämpötila on  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  ja ulkolämpötila on  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 50 % RH. Ulkoilman suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 90 % RH.

**Taulukko 4.8.** Kevytsorakaton lämpö- ja kosteustekninen toiminta talvella

<b>Materiaalikerros</b>	<b><math>d</math> [mm]</b>	<b><math>R</math> [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b><math>t</math> [°C]</b>	<b><math>v_{sat}</math> [g/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>Z_v</math> [10<sup>3</sup> s/m]</b>	<b><math>v</math> [g/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>\varphi</math> [% RH]</b>
Sisäilma			20	17,3		8,6	50
Sisäpinta		0,1	19,6	16,9		8,6	50,9
Betoni	265	0,1	19,3	16,6	400	8,2	49,3
Höyrynsulku			19,3	16,6	3500	4,6	27,6
Lämmöneriste	100	3,2	7,5	8,1	100	4,5	55,2
Lämmöneriste	750	7,5	-19,8	0,9	1	(4,5)	100
Betoni	40	0,0	-19,9	0,9	60	(4,4)	100
Bitumikermikate			-19,9	0,9	3500	0,8	92,0
Ulkopinta		0,04	-20,0	0,9		0,8	92,0
Ulkoilma			-20,0	0,9		0,8	90
Yhteensä		11,0			7561		

Taulukossa 4.8  $d$  on rakennekerroksen paksuus,  $R$  on kerroksen lämmönvastus,  $t$  on lämpötila kerrosten rajapinnassa,  $v_{sat}$  on veden kyllästyspitoisuus kyseisessä lämpötilassa,  $Z_v$  on kerroksen vesihöyrynvastus,  $v$  on huokosilman vesihöyrypitoisuus kerrosten rajapinnassa ja  $\varphi$  kerroksen suhteellinen kosteus  $v/v_{sat}$ . Lämpötilat kerrosten rajapinnoissa on saatu sisä- ja ulkolämpötilan erosta kerrosten lämmönvastusten suhteissa. Huokosilman vesihöyrypitoisuus kerrosten rajapinnassa on saatu vastaavasti kerrosten vesihöyrynvastusten suhteilla. Kerrosten lämmönvastukset ja vesihöyrynvastukset sekä vesihöyryn kyllästyspitoisuuksien arvot on kerätty kirjallisuudesta.

Taulukon viimeisestä sarakkeesta nähdään, että rakenteeseen kertyy kosteutta talviolosuhteissa, kun kosteutta siirtyy sisäilmasta ulospäin. Taulukon laskennassa ei ole huomioitu viherkaton kerroksia. Talvella katon päällä oleva viherosa on kuitenkin jäätynyt ja sen lämpötila vastaa ulkolämpötilaa. Katon kosteusteknisen toiminnan voisi siis ajatella olevan vastaava kuin ilman viherosan rakennekerroksia.

Taulukossa 4.9 on esitetty vastaava karkea laskelma rakenteen lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta kesäolosuhteissa, kun sisä- ja ulkolämpötilaksi on valittu +20 °C. Sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 75 % RH ja ulkoilman 90 % RH.

**Taulukko 4.9.** Kevytsorakaton lämpö- ja kosteustekninen toiminta kesällä

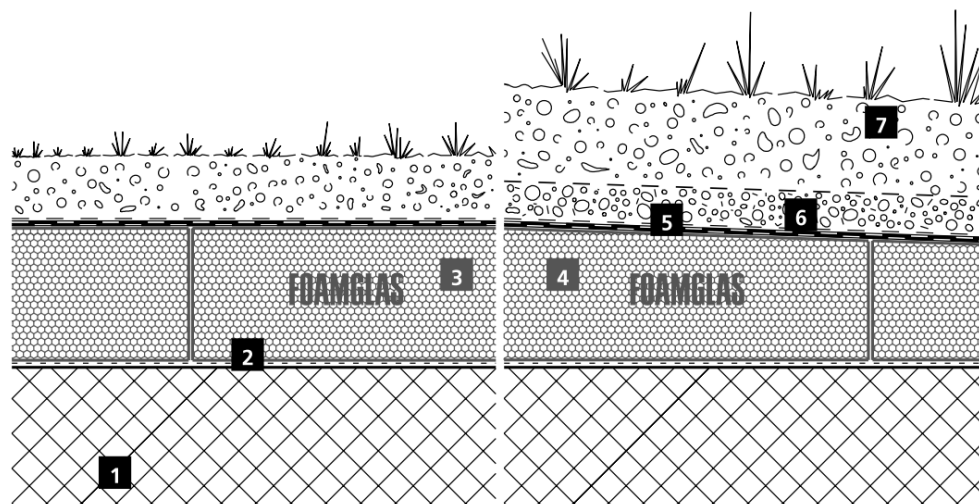
<b>Materiaalikerros</b>	<b>d</b> [mm]	<b>R</b> [m <sup>2</sup> K/W]	<b>t</b> [°C]	<b>v<sub>sat</sub></b> [g/m <sup>3</sup> ]	<b>Z<sub>v</sub></b> [10 <sup>3</sup> s/m]	<b>v</b> [g/m <sup>3</sup> ]	<b>φ</b> [% RH]
Sisäilma			20	17,3		13	75
Sisäpinta		0,1	20	17,3		13	75,1
Betoni	265	0,1	20	17,3	400	12,9	74,3
Höyrynsulku			20	17,3	3500	11,7	67,4
Lämmöneriste	100	3,2	20	17,3	100	11,6	67,2
Lämmöneriste	750	7,5	20	17,3	1	11,6	67,2
Betoni	40	0,0	20	17,3	60	11,6	67,1
Bitumikermikate			20	17,3	3500	10,4	60,1
Ulkopinta		0,04	20	17,3		10,4	60,1
Ulkoilma			20	17,3		10,4	60
Yhteensä		11,0			7561		

Taulukoiden 4.8 ja 4.9 laskelmissa on otettu huomioon ainoastaan diffuusion vaikutus stationääritilanteessa. Todellisuudessa kevytsorakerroksessa tapahtuvat konvektiovirtaukset poistavat kosteutta käyttötilanteessa. Lisäksi kevytsorakerroksen ja pinta-betonilaatan suuret kosteuskapasiteetit tasaavat olosuhteita. Käyttötilanteessa kosteuden kondensoitumista betonilaatan ja kermin alapintaan ei juurikaan tapahdu, kun ylimääräinen rakennusaikainen kosteus on poistunut. (Vinha 2016)

Saksalaisen tutkimuksen mittausten mukaan viherkaton, jossa on 80 mm paksu kasvualusta ja vettä pidättävä kerros, kasvualustan alla ilman suhteellinen kosteus pysyy lähes aina lähellä 100 % RH (Zirkelbach et al. 2010). Suhteellisen kosteuden nousu bitumikermien yläpuolella ei kuitenkaan nosta suhteellista kosteutta sen alapuolella. Kevytsorakerroksen suhteelliseen kosteuteen vaikuttaa ennen kaikkea ulkoilman suhteellinen kosteus, joka tulee kerrokseen ilmavirtausten mukana (Vinha 2016).

Rakennetyyppi on toimiva, jos eristekerroksen tuuletus on riittävä poistamaan rakennusaikainen ja käytönaikainen ylimääräinen kosteus. Rakennetyypeissä kevytsorakerroksen alla on EPS- tai XPS-eristekerros, jolla rakenteen kokonaiskorkeutta on pienennetty. Kosteus eristekerroksessa valuu näiden alle. Rakenteen kuivumiskykyä voidaan parantaa eristeen alareunan urituksen ja eristelevyjen saumoihin tehtyjen tuuletusreikien avulla (Lahdensivu et al. 2012). Rakenteen sääsuojaus tulisi tehdä niin, että rakenteeseen ei pääse ylimääräistä sadevettä ennen ulkopinnan bitumikermien laittoa (Vinha 2016).

Tuulettumattomassa umpirakenteessa toteutustapojen ja lämmöneristeiden tulee olla sellaisia, ettei niihin pääse imeytymään sadevettä eristeen asennuksen aikana (Vinha 2016). Viherkattorakenteessa lämmöneristeen pitää lisäksi kestä viherkerrosten paino. Solulasieristeiden valmistaja Foamglas Nordicin esitteessä on viherkattojen rakennetyyppejä, joissa eristeenä käytetään solulasista valmistettua rakennuseristettä. Kuvissa 4.11, 4.12 ja 4.13 on valmistajan ohjeen mukaiset rakennetyypit.



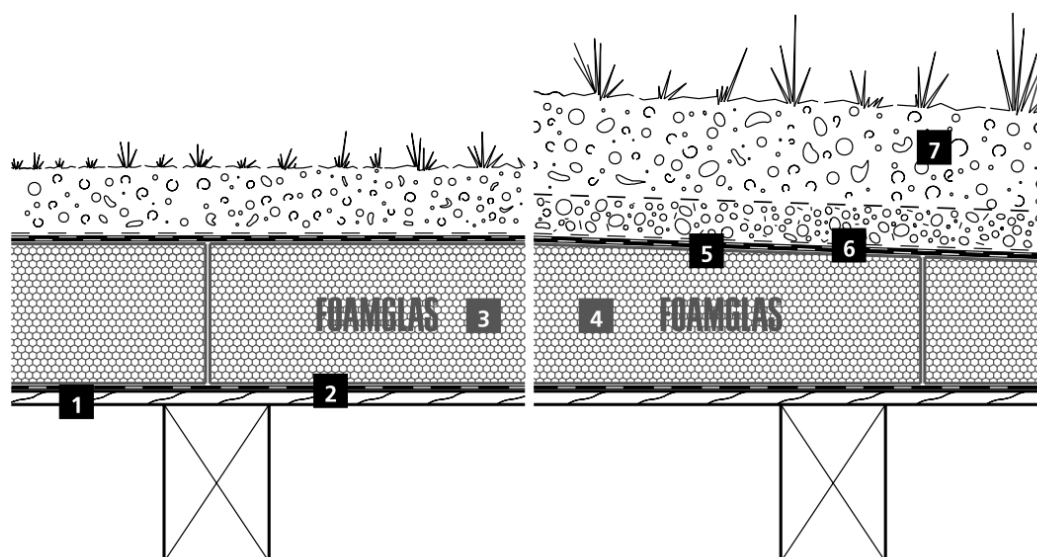
**Kuva 4.11.** Solulasieristetty loiva viherkatto, betonialusta (Foamglas kompaktikatojärjestelmä, Vihreä katto betonilaatalla 2010)

Kuvan 4.11 rakennekerrokset ylhäältä alaspäin ovat:

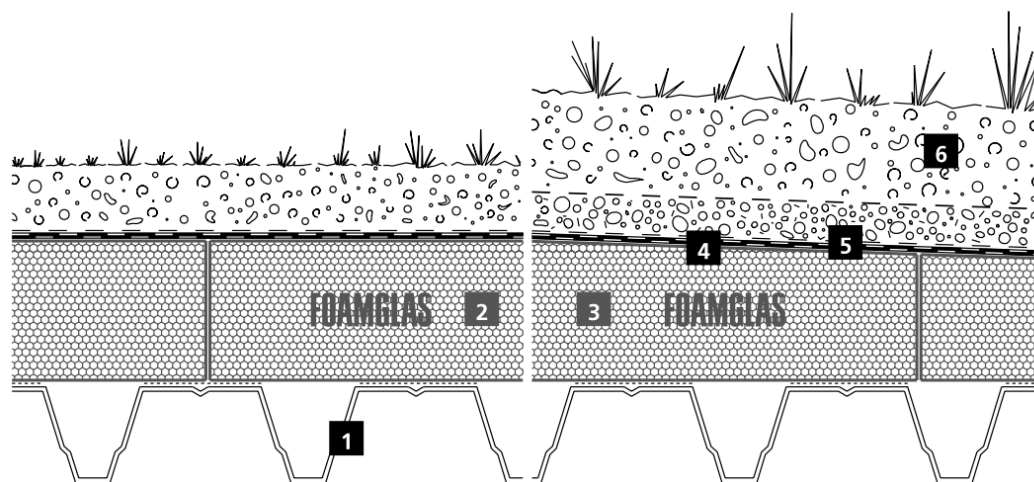
7. Kasvillisuuskerros
6. Erotus- / suojakerros
5. Vedeneriste-/tiivistyskerros, hitsattuna eristeeseen
- 4 ja 3. Solulasieriste
2. Kuumabitumikerros, eristeen kiinnittämiseen
1. Kantava betonialusta

Rakennetyypissä solulasieriste on liimattu kantavaan betonialustaan kuumabitumilla. Solulasieristelevyt on liimattu toisiinsa tiiviillä puskuauomoilla. Vedeneristyskermit kiinnitetään eristeen yläpintaan.

Valmistajalla on vastaavat rakennetyypit myös pelti- ja puualustoille (kuvat 4.12 ja 4.13):



**Kuva 4.12.** Solulasieristetty loiva viherkatto, puualusta (Foamglas kompaktikattojärjestelmä, Vihreä katto puupalkistolla 2010)



**Kuva 4.13.** Solulasieristetty loiva viherkatto, peltialusta (Foamglas kompaktikattojärjestelmä, Vihreä katto profiilipellillä 2010)

Kuvan 4.12 kattorakenteessa eriste on liimattu puualustaan naulatun bitumikermien päälle. Kuvassa 4.13 eriste on liimattu kantavan peltiprofiilin puhdistettuihin ylälaipoihin. Pellin ja eristeiden väliin voisi lisätä tasaisen alustan, johon eriste kiinnitetään.

Huomattavaa kuvien 4.11, 4.12 ja 4.13 rakennetyypeissä on erillisen höyrinsulkerakkeksen puuttuminen. Solulasieriste toimii sekä lämmöneristeinä että ilman- ja höyrinsulkuna. Valmistajan ohjeen mukaan solulasin vesihöyrinvastus on erittäin suuri, joten sisältä päin diffuusio ei aiheuta ongelmia. Rakenne on suljettu, joten eristekerrok-



seen joutunut kosteus ei pääse poistumaan. Tämän puolesta rakenne on riskialtis. Eristeen alustaan kiinnityksessä ja levyjen saumapaikoissa pitää olla asennuksessa erityisen huolellinen, jotta eriste- ja höyrynsulkukerros toimii tarkoituksenmukaisesti ja tiiviisti. Puu- ja peltialustan kuormankestävyys rajoittavat yläpuolisia rakennekerroksia: ne eivät kestä vastaavaa rakenteiden painoa kuin kantava betonialusta.

## **4.4 Viherkattoihin liittyviä detaljeja**

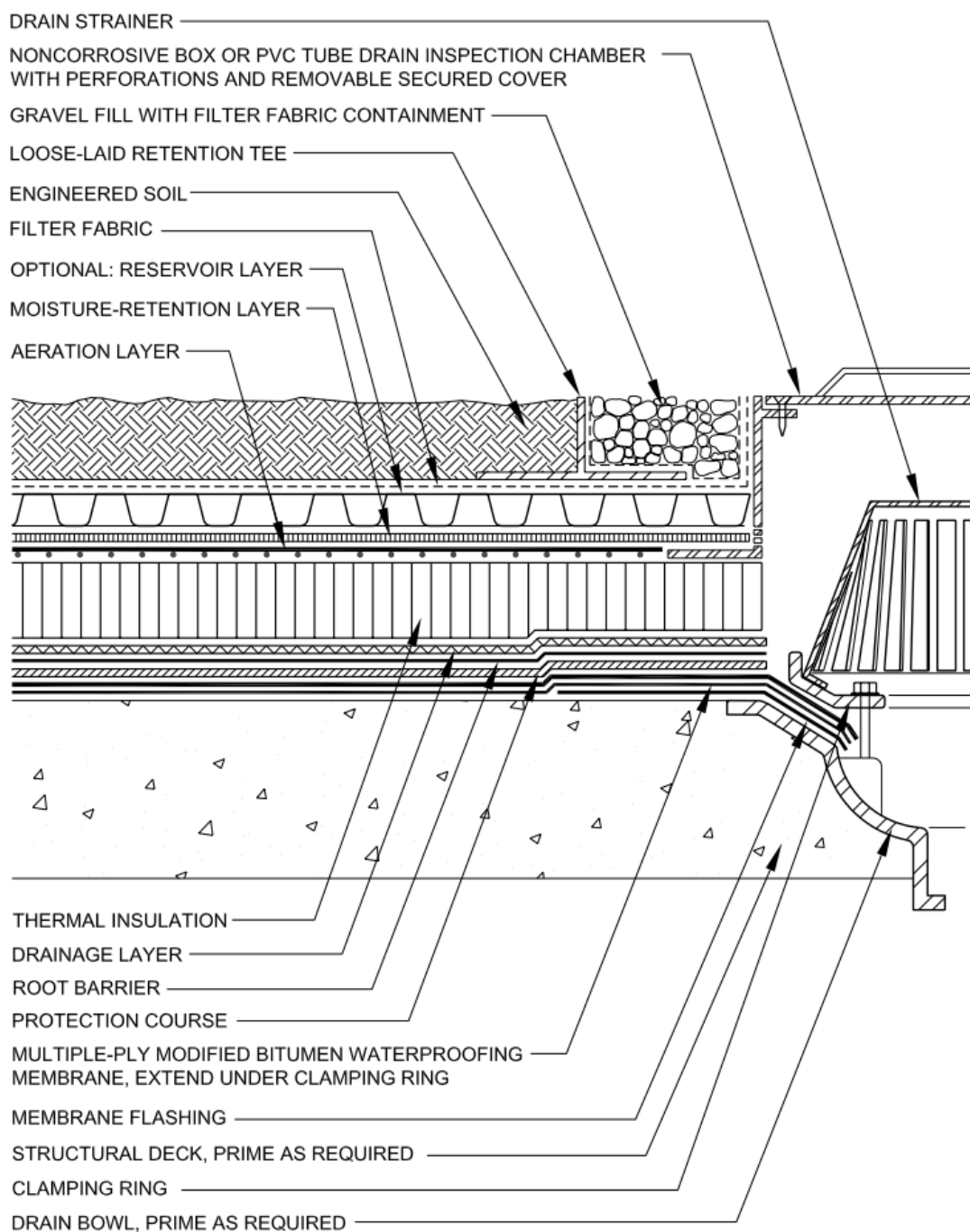
Toimiakseen viherkatot, kaikkien kattojen tapaan, vaativat muutakin kuin toimivan rakennetyypin. Suunnittelussa ja toteutuksessa pitää kiinnittää huomiota yksityiskohtiin ja liittyisiin muihin rakenteisiin.

### **4.4.1 Vedenpoisto**

Tässä luvussa on esimerkkidetallit aikaisemmin esitettyjen rakennetyyppien vedenpoistosta. Vedenpoistoa katolta käsitellään myös luvussa 3.6.

Loivilta katoilta sadevesi voidaan johtaa pois kattokaivoilla sisäpuolisen vedenpoiston kautta. Kattokaivoina pitää käyttää haponkestävästä teräksestä valmistettuja osia ja niiden puhdistus pitää olla mahdollista. Kuvassa 4.14 on esitetty RT 85-11205 (2016) -ohjekortin mukainen sisäpuolisen vedenpoiston toteutus käännetyllä viherkatolla.





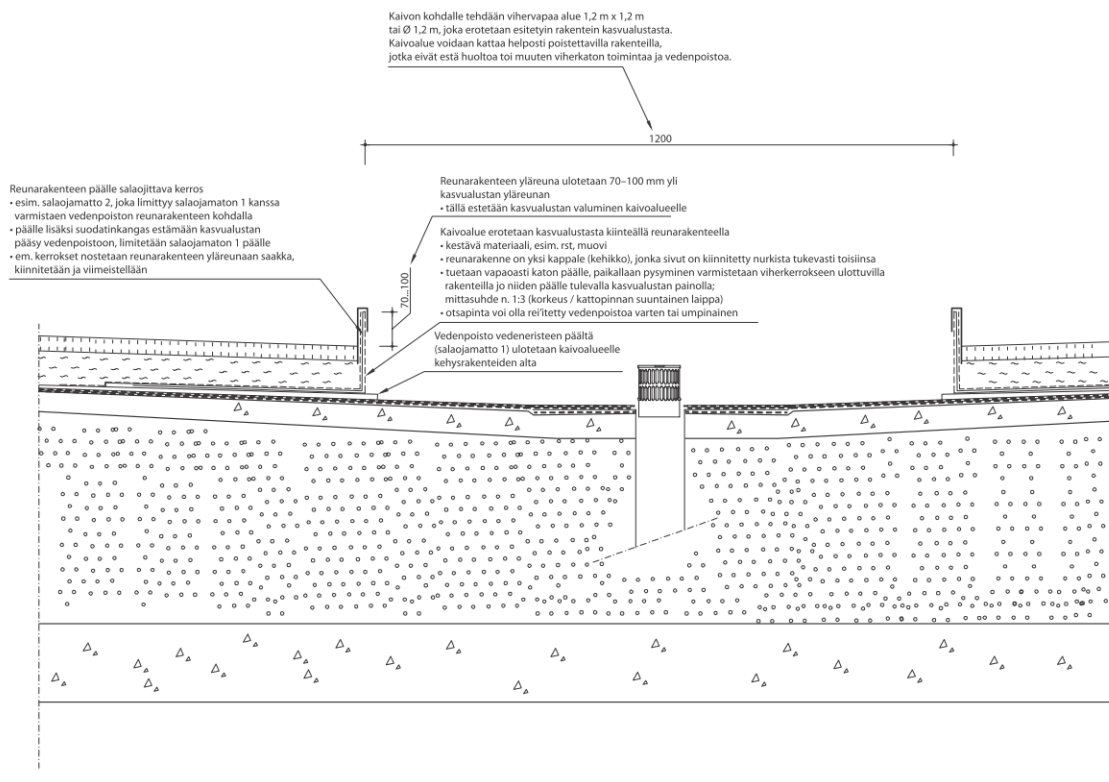
**Kuva 4.15.** Kattokaivo käännetyllä viherkatolla, ekstensiivinen viherkatto (Bechtel et al. 2007)

Kuvassa 4.15 kattokaivon päällä on tarkastusluukku ja sen ympärillä RT 85-11205 (2016) -ohjekortin detaljia vastaavasti suojakiveys. Kuvasta 4.15 nähdään, että suurin osa ylimääräisestä vedestä on tarkoitus poistaa katolta vain lämmöneristeen alapuoleisen salaojakerroksen kautta.

Suomalaisen ohjeen (RT 85-11205 2016) mukaisesti toteutettaessa kaiken ylimääräisen veden ei tarvitse ensin valua kaikkien salaojakerroksen yläpuolisten rakennekerrosten läpi, joten vedenpoisto on tehokkaampaa. Veden poistuessa katon pintaa pitkin

sen mukana kulkeutuu roskaa kattokaivoon. Tämä lisää kaivon tukkeutumisvaaraa, joten kaivojen säännöllinen tarkastus on tarpeellista.

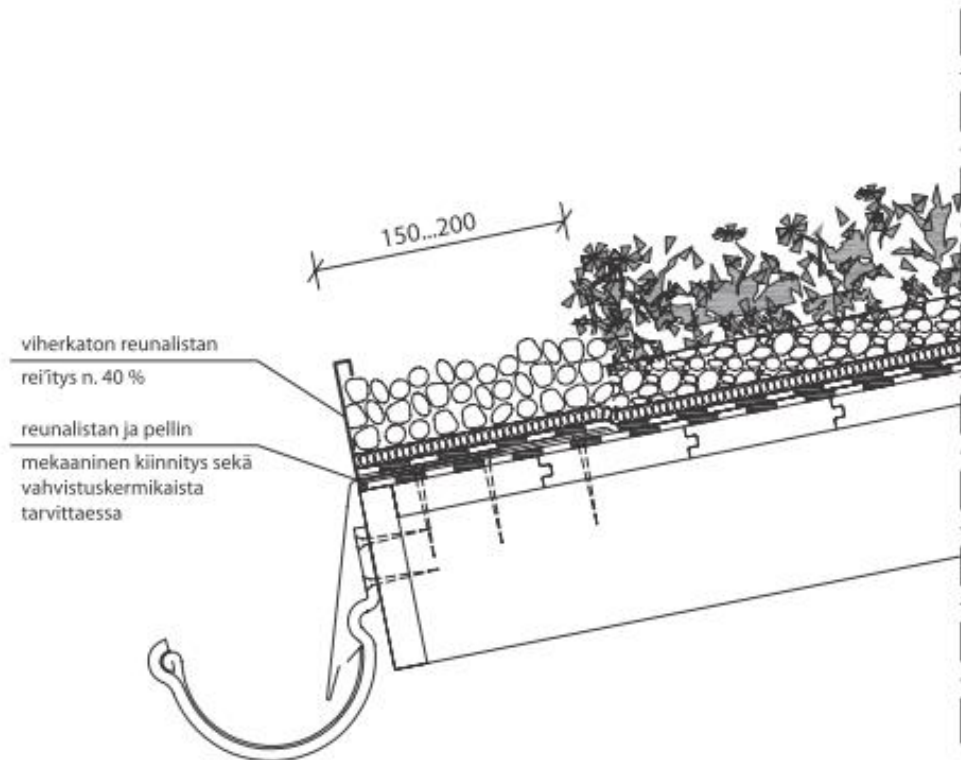
Kuvassa 4.16 on esitetty periaate kattokaivosta viherkatolla, joka on rakennettu kevytsorakaton päälle.



**Kuva 4.16.** Kattokaivo kevytsoraviherkatolla (RT 85-11205 2016)

Kuvassa 4.16 katon kevytsorakerros ja sen päällä oleva suojabetonilaatta on kaadettu kattokaivon suuntaan. Kaivon ympärillä on vihervapaa 1,2 m x 1,2 m tai Ø 1,2 m alue, joka on erotettu viherkatosta vedeneristeen päälle asetetulla kehikolla. Kehikon materiaali voi olla esimerkiksi ruostumatonta terästä. Sadevedet ohjataan vedeneristeen päältä kehikon alle jäävän salaojajamaton avulla kaivolle. Sadevesien kulku katon pintaa pitkin kaivolle pitää myös mahdollistaa: reunarakenteen otsapinta voi olla rei'itetty tai sen yli voidaan asentaa salaojajamatto, joka liittyy kehikon alla olevan salaojajamaton kanssa. (RT 85-11205 2016)

Jyrkkien kattojen sadevedenpoisto voidaan toteuttaa alaräystäiden avulla kuvassa 4.17 esitetyllä tavalla. Katon lappeen vedet ohjautuvat kourujen kautta syöksytorviin.

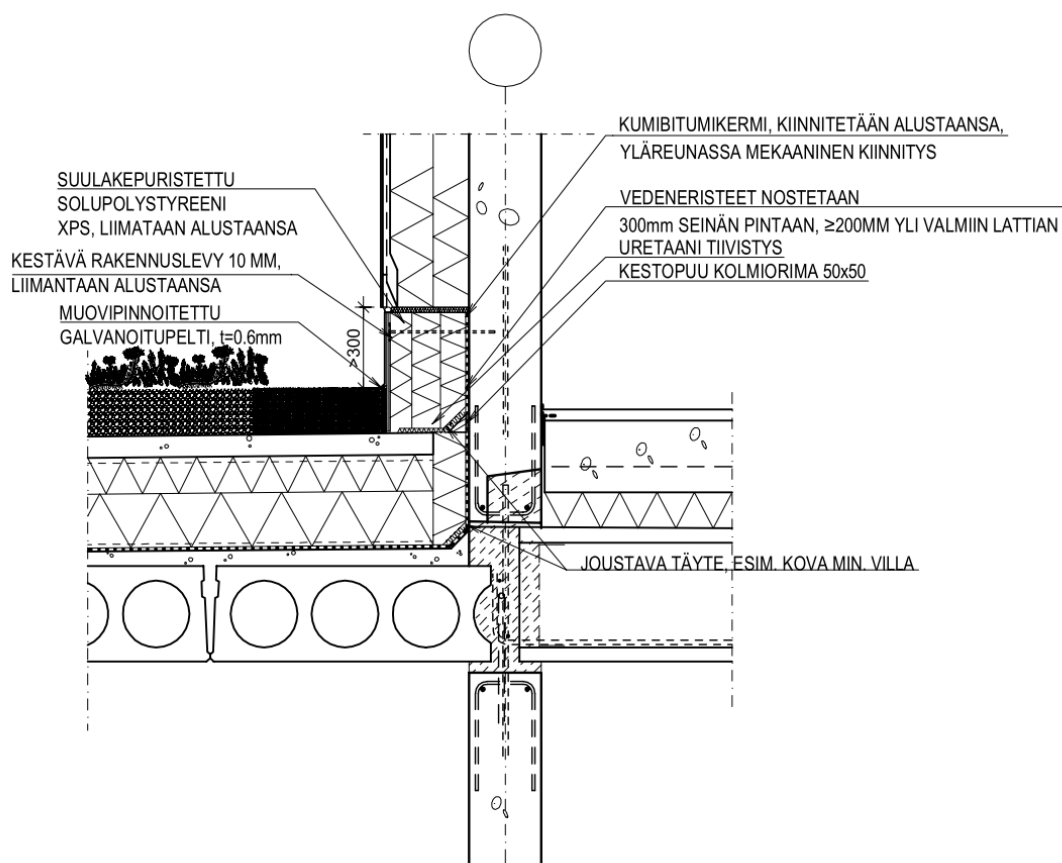


**Kuva 4.17.** Jyrkän viherkaton alaräystä (RT 85-11205 2016)

Kuvassa 4.17 on RT 85-11205 (2016) -ohjekortin mukainen jyrkän viherkaton alaräystä. Lappeelta ohjautuvat vedet valuvat kattorakenteen päältä ja salaojakerroksesta rei'itetyn reunalistan läpi kouruun. Kasvualusta ja kattokasvillisuus on erotettu räystään reunasta reunakiveyksellä.

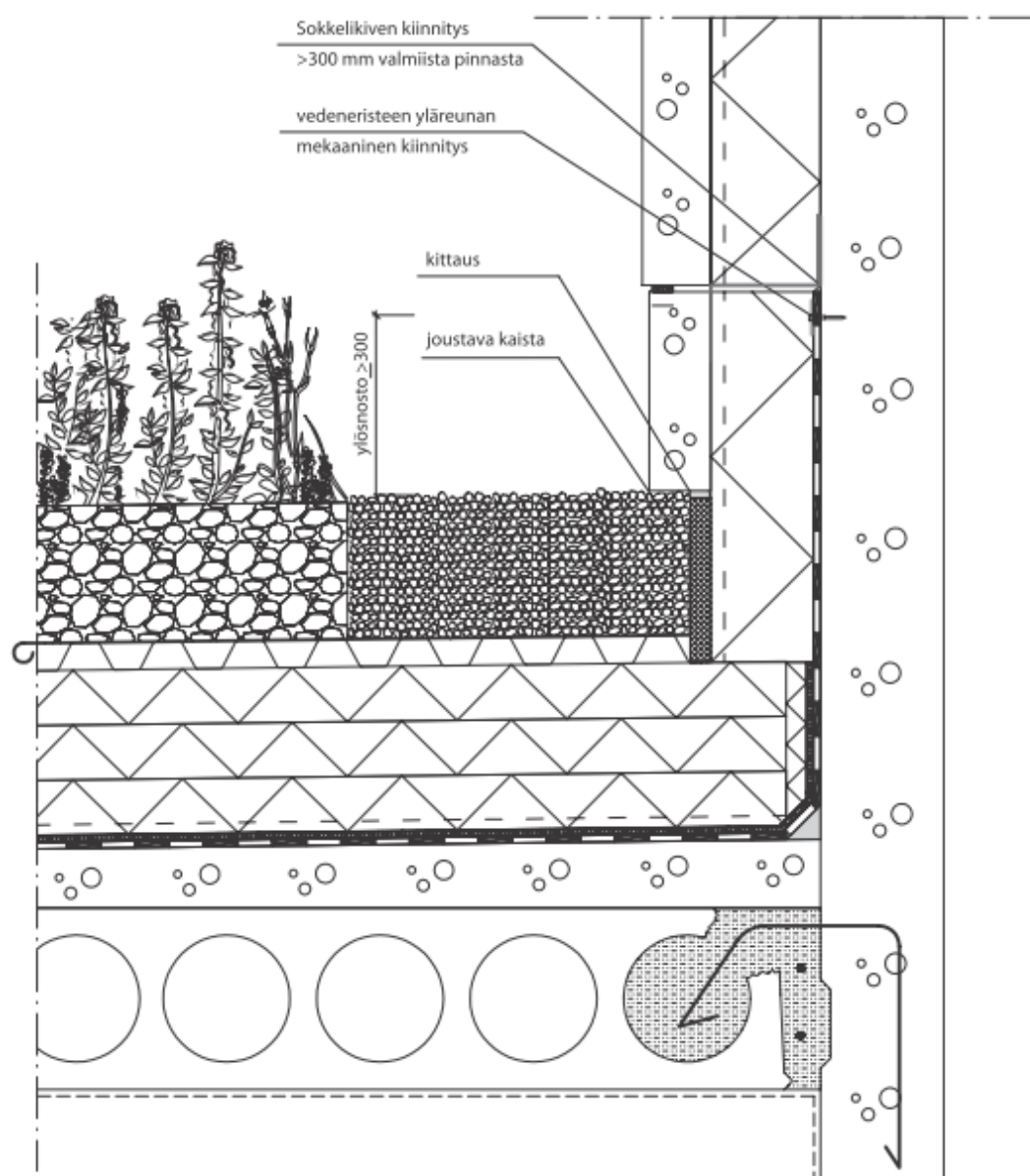
#### 4.4.2 Liitokset pystyrakenteisiin

Kattopinnan liittyessä pystyrakenteisiin, kuten seiniin tai katon läpivienteihin, detaljeissa pitää kiinnittää huomiota vedeneristykseen. Suositus on nostaa vedeneriste 300 mm ylöspäin katon yläpinnasta kuvassa 4.18 esitettyyn tapaan.



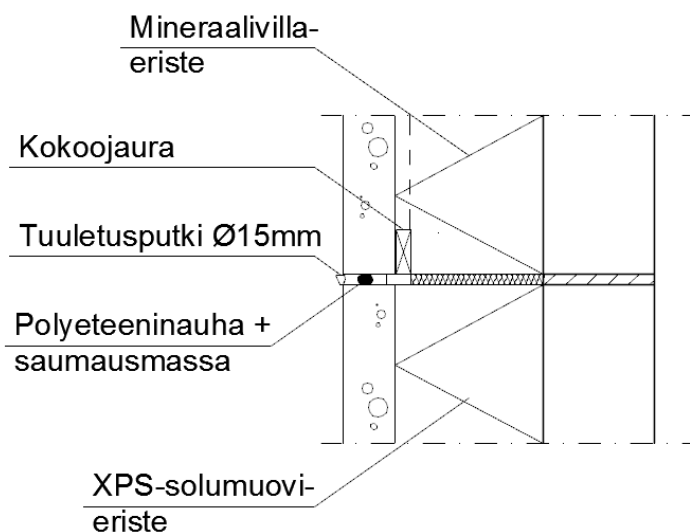
**Kuva 4.18.** Yläpohjan vedeneristyksen ylösnosto seinäpinnalle

Kuvassa 4.18 esitetään vedeneristeen noston periaate käännetyllä katolla, jossa seinäpinta erottaa katon huonetilasta. Katon vedeneristeenä käytetty kumibitumikermi on nostettu ja kiinnitetty seinäpinnalle. Vedeneristeen päälle on liimattu XPS-eristelevyt, jotka vedeneristeen tavoin kiinnitetään yläpäästään mekaanisesti. Lämmöneriste on suojattu kestävällä rakennuslevyllä ja suojapellityksellä. Katon viherosan ja seinäpinnan välissä on suojakiveyskaista. Vastaavanlainen detalji esitetään viherkattojen rakenteita käsittelevässä ohjekortissa (RT 85-11205 2016) ja kuvassa 4.19.



**Kuva 4.19.** Käännetyn viherkaton liittyminen seinäpinnalle. (RT 85-11205 2016)

Kuvassa 4.19 on esitetty vedeneriste ylösnosto betoniseinälle RT 85-11205 (2016) -ohjekortin mukaisesti. Seinällä vedeneristein päällä on kova lämmöneriste ja matala kuorielementti. Näiden kiinnitykseen ei ole ohjeessa otettu kantaa. Jos seinän alareunan ulkonäkövaatimukset sallivat, helpompi toteutuskeino on kuvan 4.18 mukainen pellitys. Kuorielementin ja ylemmän seinän ulkokuoren sauma pitää tuulettaa, kuten muutkin betonisandwich-seinän vaakasaumat. Vaakasauman tuuletusperiaate esitetään kuvassa 4.20. Kuvasta 4.19 poiketen seinän alaosan eristeenä tulisi käyttää XPS-solumuovieristettä. XPS-levyn uritus ei ole tarpeellista (Vinha 2016).



**Kuva 4.20.** Betonielementtien vaakasauman tuuletus solumuovieristeen ja mineraalivillaeristeen välisessä saumassa

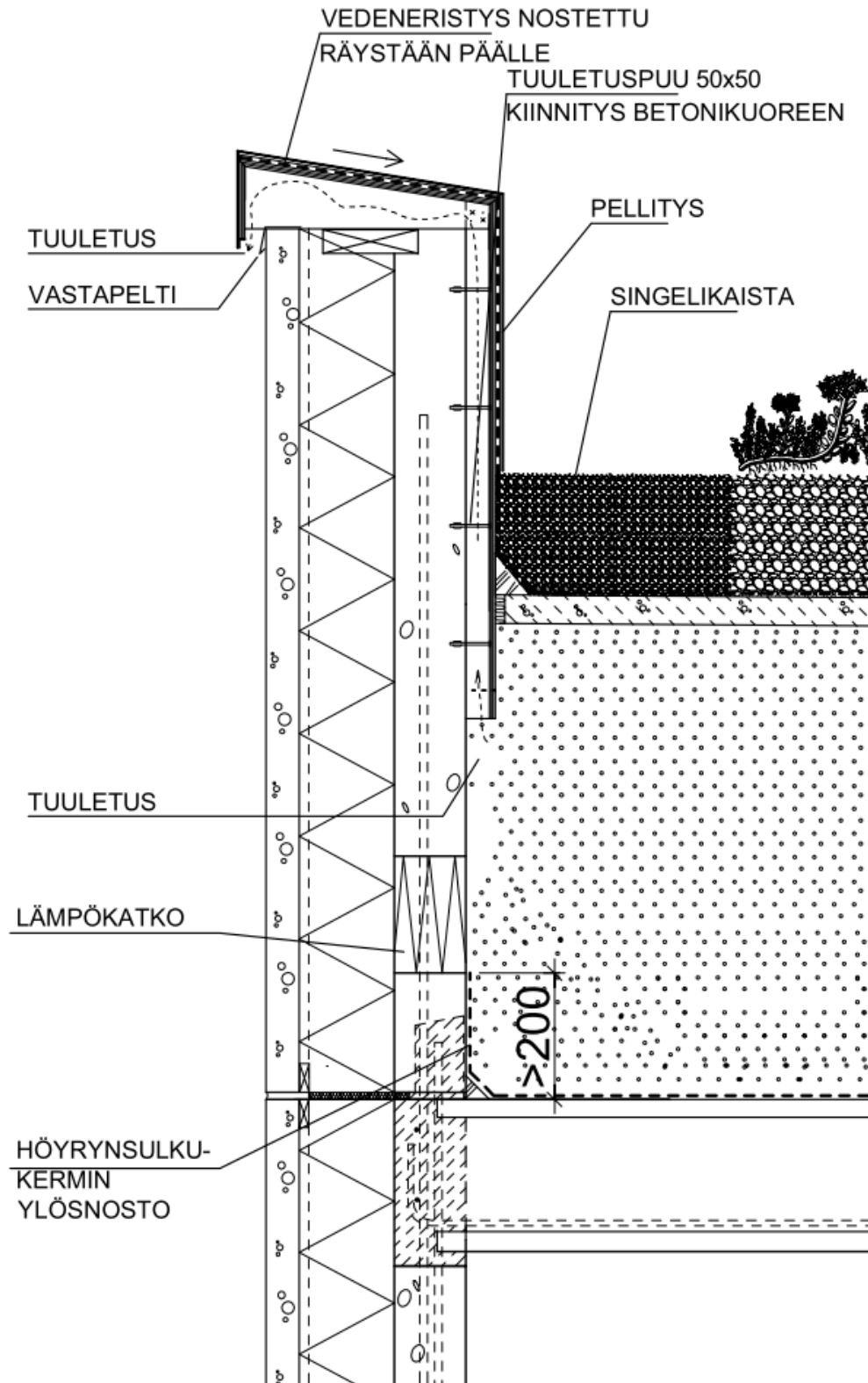
Kuvassa 4.20 betonikuorien välissä oleva mineraalivillaeristekerros on pystysuuntaan uritettu ja vaakasauman päällä on kokoojaura. Betonikuorien saumaan sijoitetaan tuuletusputket noin 2000 mm välein (Elementtisuunnittelu.fi / Seinäliitokset 2015).

Jos katon läpi tehdään suuria läpivientejä, vedeneriste nostetaan seinäpintojen tapaan 300 mm katon valmista pintaa ylemmäs. Pienissä läpivienneissä riittää läpivientiputkiin asennettu laippa, joka liitetään tiiviisti ja vedenpitävästi vedeneristykseen. (RT 85-10729 2000)

#### 4.4.3 Leikkaukset katon räystäältä

Loivien kattojen räystäillä vedeneriste pitää nostaa ylös vastaavasti kuin kuvien 4.18 ja 4.19 seinäpinnan liittymässä. Eristekerroksen tuuletus on myös huomioitava, jos rakenteen toiminta niin edellyttää. Kuvissa 4.21 ja 4.22 on esitetty vesikattoleikkaukset loivan kevytsoraviherkaton ja käännetyn viherkaton räystäältä.

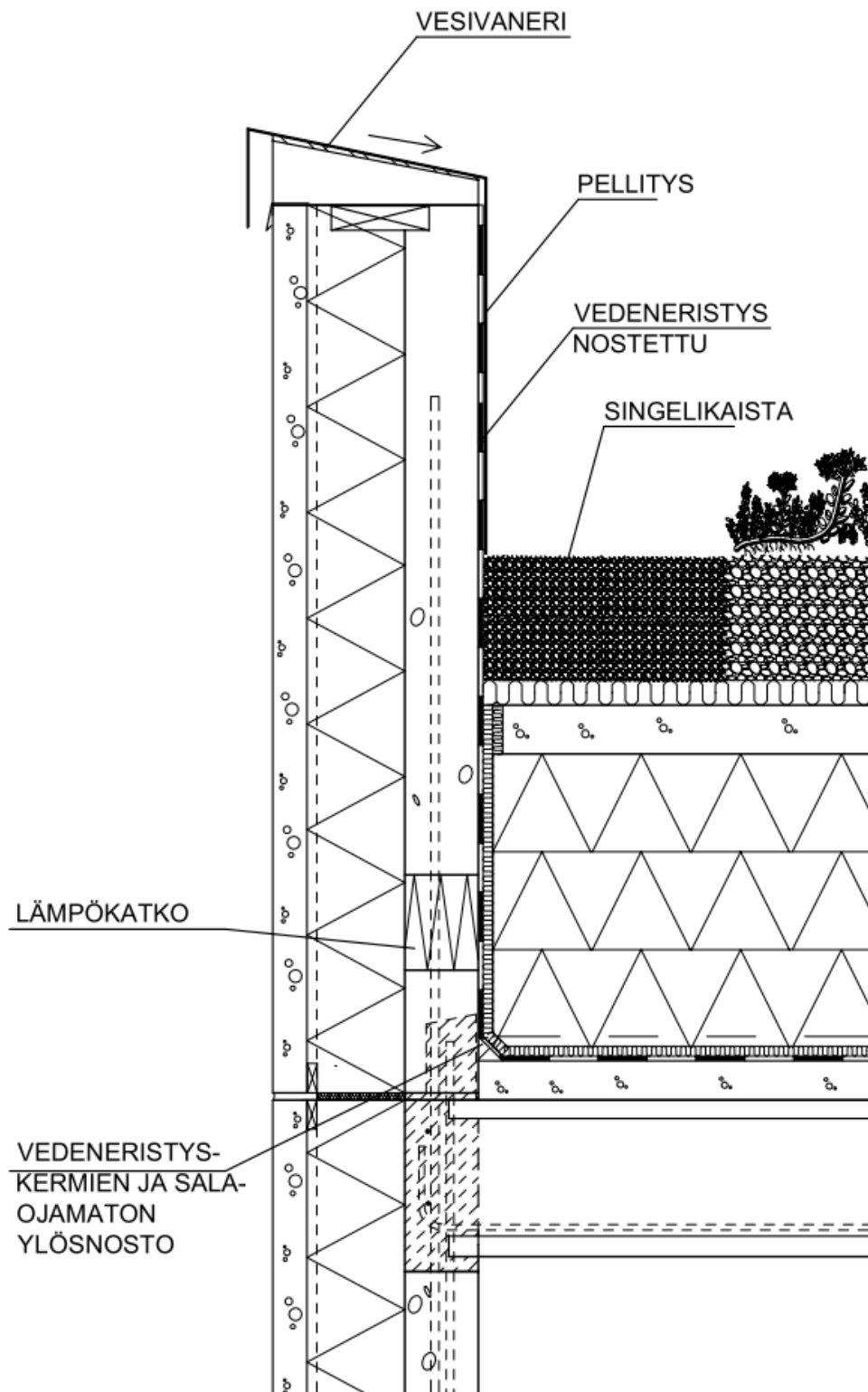




**Kuva 4.21.** Kevytsoviherkaton leikkaus ulkoseinän vierestä

Kuvassa 4.21 on esitetty kevytsoraviherkaton räystäsdetalji. Ulkoseinärakenne on betonisandwichelementti. Katon vedeneristys on nostettu räystäään yläreunan pellin alle ja suojattu seinäpinnalla pellillä. Tuuletus on järjestetty puuosien avulla räystäspellin alta. Katon höyrynsulkukermi on nostettu seinälle.

Kuvassa 4.22 on käännetyn viherkaton räystäsdetalji.

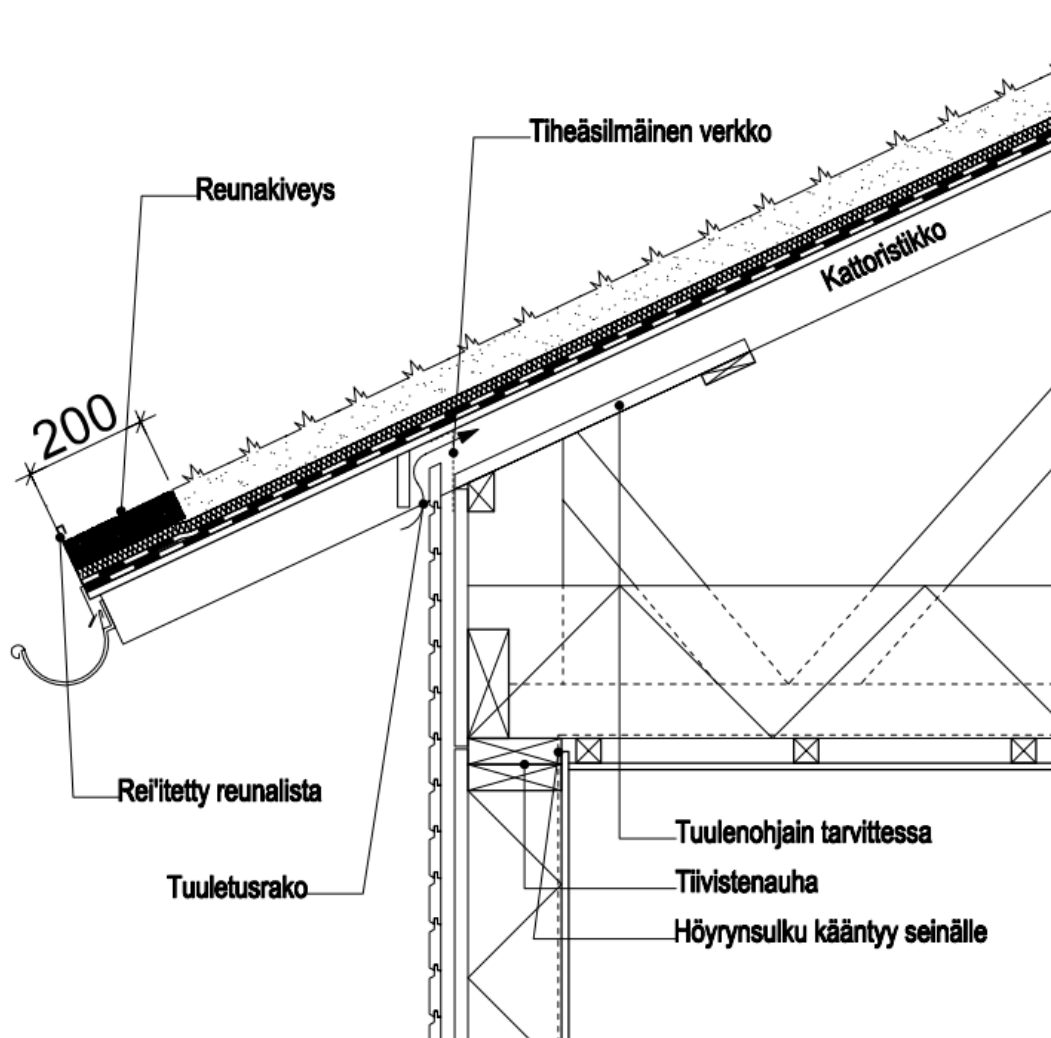


**Kuva 4.22.** Käännetyn viherkaton leikkaus ulkoseinän vierestä

Kuvassa 4.22 katon vedeneristys on nostettu seinälle ja suojattu pellityksellä. Salaojamatto vedeneristeen päällä on nostettu seinällä lämmöneristekerroksen alueella. Pintabetonilaatta on erotettu seinästä joustavalla kaistalla. Reunalla seinän vieressä on singelikaista. Kummassakaan kuvien 4.21 ja 4.22 loivan katon leikkauksista ei ole otettu

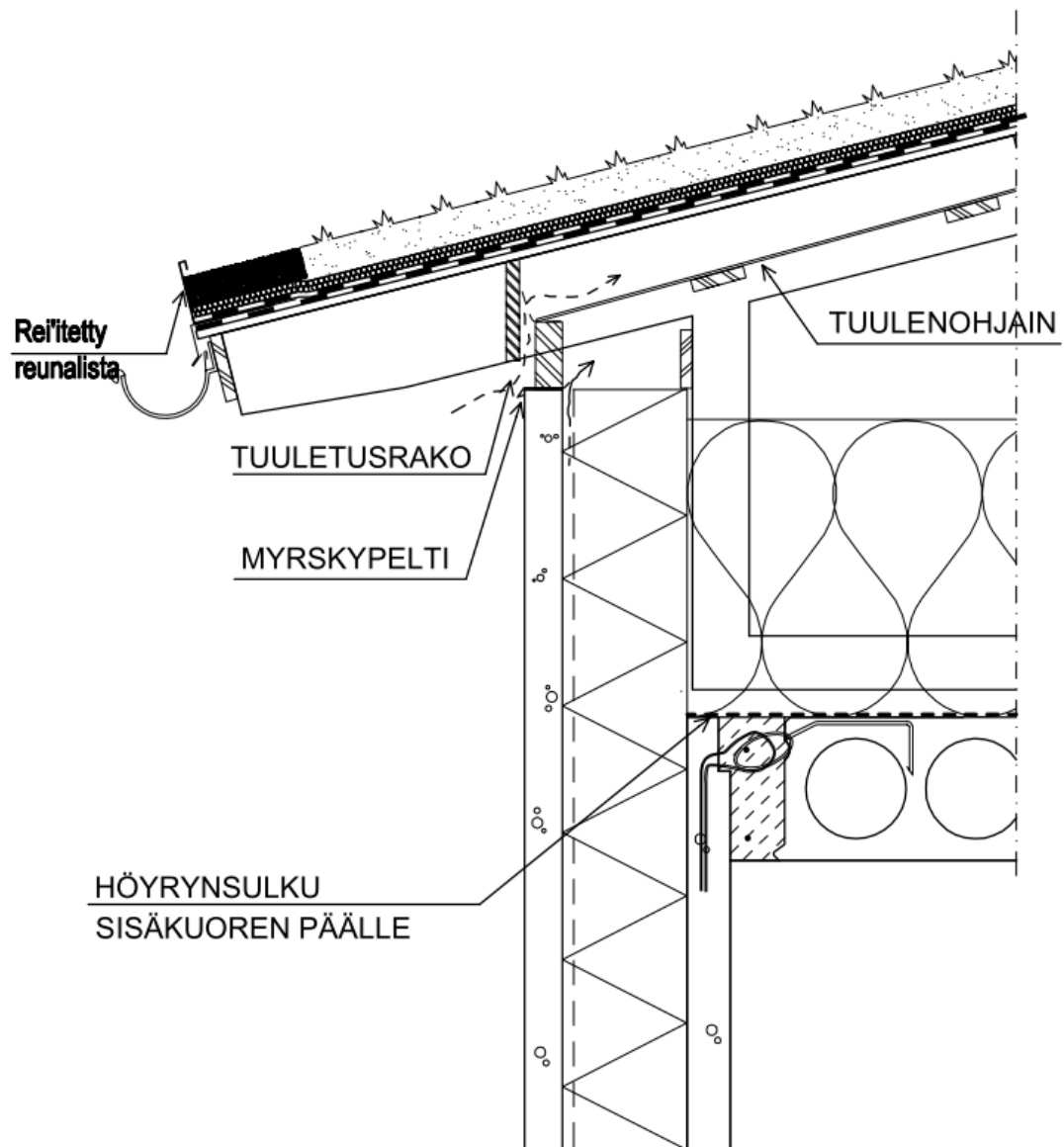
kantaa vesikaton seinäelementtien tuentaan. Erikseen pitäisi tarkistaa riittääkö alemmas-  
ta kerroksesta tulevat tartunnat seinien sisäkuoren sisään vai tarvitaanko seinille erillisiä  
vesikatonle asennettavia tukia.

Kuvassa 4.23 esitetään tuulettuvan viherkaton leikkaus alaräystäällä.



**Kuva 4.23.** Tuulettuvan viherkaton leikkaus ulkoseinän vierestä katteen alaräystäällä

Kuvan 4.23 vesikatto on kannatettu kattoristikolla. Tuuletus tapahtuu ulkoseinän ja vesikatteen kannatusalustan välistä. Höyrinsulku on lämmöneristeen alla. Se käännetään seinälle ja liitetään seinän höyrinsulkuun. Räystäärakenne on esitetty tarkemmin kuvassa 4.17. Kuvassa 4.24 on esitetty kuvaa 4.23 vastaava paikka betonirakenteisessa rakennuksessa.



**Kuva 4.24.** Tuulettuvan viherkaton leikkaus ulkoseinän vierestä katteen alaräystäällä

Kuvaa 4.23 vastaavasti kuvan 4.24 katon tuuletus tapahtuu räystäällä olevan tuuletusaukon kautta. Yläpohjan höyrynsulku on viety sandwich-elementin sisäkuoren päälle. Kuvista nähdään, että viherkerrokset katon päällä eivät vaikuta vesikaton alla oleviin yksityiskohtiin.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Kattorakenteen päälle on mahdollista sijoittaa viherkerroksia ja rakenne on toimiva, kun viherkaton tuomat lisävaatimukset on huomioitu viherkerrosten alapuolisissa rakennekerroksissa. Näin muuten käyttämättä jäävästä tilasta katolla voidaan saada viihtyisä puutarhamainen oleskelutila. Jyrkkä katto voi olla näyttävä julkisivun osa, kun sinne sijoitetaan kasvillisuutta. Suomessa tieto viherkatoista on lisääntymässä ja viime aikoina niihin liittyvät suomenkieliset julkaisut ovat lisääntyneet. Suurin osa viherkattoihin liittyvästä tiedosta tulee kuitenkin ulkomailta.

Viherkattorakenteita voidaan toteuttaa hyvin monella tapaa ja niitä voidaan luokitella moniin eri luokkiin. Yhteistä kaikille viherkattotyypeille kuitenkin on, että niiden toiminta Suomen ilmastossa vaatii yläpohjalta samat ominaisuudet kuin ilmankin katon päällä olevaa viherosaa. Monet yleisesti mainituista viherkattojen avulla saavutettavista hyödyistä jäävätkin pieniksi, kun viherkerrosten alla oleva kattorakenne on suunniteltu ja toteutettu hyvän suomalaisen rakennustavan mukaisesti. Viherkaton suunnittelussa pitää yleisesti yläpohjan ja vesikaton suunnitteluun liittyvien asioiden lisäksi ottaa huomioon viherkerrosten tuomat lisävaatimukset ja niiden vaikutukset kattorakenteeseen. Taulukkoon 5.1 on kerätty asioita, jotka ovat erityisiä viherkattorakenteiden suunnittelussa.

**Taulukko 5.1. Viherkattorakenteiden suunnittelussa huomioon otettavia asioita**

<b>Tekninen osa-alue</b>	<b>Viherkaton suunnittelussa huomioon otettavat asiat</b>
Kuormat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- viherkaton rakennekerroksista ja rakenteista aiheutuvat li-säneliökuormat, erityisesti kasvualustan paino</li> <li>- pistekuormat puista ja istutuslaatikoista</li> <li>- lumen kasaantuminen esteitä vasten</li> <li>- kasvillisuuden lunta sitova vaikutus</li> </ul>
Tuulikuormat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- viherrakennekerrosten paikallaan pysyminen on varmistettava</li> <li>- reuna-alueiden tarkastelu: painavampien materiaalien käyttö tarvittaessa</li> </ul>
Kattokaltevuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kaltevuuden vaikutus katon vedenpoistoon</li> <li>- jyrkillä katoilla rakennekerrosten liukumisen estäminen</li> <li>- kaltevuus vaikuttaa kasvualustan mahdolliseen paksuuteen ja käytettävään kasvillisuuteen</li> </ul>
Vedeneristys	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kumibitumikermi ovat suositeltavin vedeneristysratkaisu, tarvitaan vähintään kaksi kerrosta myös jyrkillä katoilla</li> <li>- vedeneristyskerroksen pitää kestää vedenpainetta, loivilla katoilla tarkastus vedenpainekokeella on perusteltua</li> <li>- juurisuojaus tarvitaan estämään kasvien juuria vahingoittamasta vedeneristettä, suojaus valmiiksi juurisuojatuilla vedeneristeillä ja mahdollisesti erillisellä juurisuojakerroksella</li> </ul>
Lämmöneristys	<ul style="list-style-type: none"> <li>- viherrakenteiden paino on huomioitava kuormitukselle altistuvien lämmöneristekerrosten materiaalin valinnassa, materiaalin pitkäaikainen kuormituskestävyys on tiedettävä</li> <li>- viherkerrosten lämmöneristyskyky on talvella olematon, ei voida huomioida rakenteen lämmönläpäisykertoimessa</li> <li>- kesällä viherkerrokset lisäävät rakenteen lämmöneristävyttä, muuten hyvin eristetyssä rakenteessa vaikutus on pieni</li> </ul>
Katon vedenpoisto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ylimääräinen vesi poistetaan viherkatolta salaojituserroksella, rakennetyypistä riippuen kerroksia tarvitaan yksi tai kaksi</li> <li>- viherkerrokset pienentävät katolta poistuvan veden määrää ja intensiteettiä</li> <li>- rankkasateella kastuneilla viherkerroksilla ei ole vaikutusta katolta poistuvan veden määrään</li> </ul>
Paloturvallisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- valmistajilla BROOF(t2)-paloluokiteltuja viherkattotuotteita, muiden tyyppien kanssa on käytettävä paloturvallisuutta parantavia toimenpiteitä</li> <li>- tarvittaessa katon jakaminen palo-osastoihin palokatkoilla</li> </ul>

Viherkattorakenne rakennuksen päällä aiheuttaa lisää kuormitusta yläpohjan ja koko rakennuksen muille kantaville rakenteille. Kantavien rakenteiden pitää kestää niille aiheutuva kuormitus.

Yläpohjan lämmöneristävyyden pitää olla riittävä ja ilman- ja höyrynsulun pitää toimia. Katon rakennetyypistä riippuen viherkatto asettaa lämmöneristeelle lisävaatimuksia. Jos viherkerrokset ovat suoraan lämmöneristeen päällä, pitää niiden paino huomioida lämmöneristemateriaalin valinnassa. Joissain tapauksissa katon viherosa toimii myös lämmöneristeenä, mutta viherosan vaihtuvista ominaisuuksista johtuen sitä on vaikea huomioida tarkasti katon lämmöneristävyydessä. Muuten hyvin eristetyssä yläpohjassa viherkerrosten vaikutus rakenteen lämmöneristävyyteen on joka tapauksessa pieni.

Vesikaton vedeneristyksen toimivuus on erittäin tärkeää ja viherkattorakenteissa siihen pitääkin kiinnittää erityistä huomiota. Viherkaton kasvillisuus ja niiden juuristot aiheuttavat vedeneristeelle lisärasituksia. Vedeneristyksen toimivuus varmistetaan suojaamalla se kasvien juurien tunkeutumista vastaan. Vedenpoisto viherkatolta eroaa tavallisista katoista: ylimääräinen vesi johdetaan pois katolta salaojituserrosten kautta. Kaikissa viherkattotyypeissä salaojituserros on aina suoraan vedeneristyskerroksen päällä. Rakennetyypistä riippuen toinen salaojituserros voidaan tarvita kasvillisuuden kasvualustan alla. Viherkaton vedenpoisto vaikuttaa myös katon kasvillisuuteen. Vedenpoisto ei saa olla liian tehokasta, jotta kasvillisuus selviää katolla. Sen pitää olla kuitenkin riittävä, jotta kaikki ylimääräinen vesi saadaan johdettua pois katolta. Monissa tapauksissa katon kasvillisuuden kasvualusta pidättää suuren osan katolle sataneesta vedestä ja valuma viherkatolta on hyvin paljon pienempi kuin tavalliselta katolta. Rankkasateella kasvualustan vedenpidätyskyky on kuitenkin rajallinen ja tietyssä pisteessä, kasvualustan ominaisuuksista riippuen, valuma viherkatolta on tavallista kattoa vastaava. Viherkaton vedenpoistolaitteistot pitää mitoittaa tällaiselle tilanteelle huomioimatta katon viherkerroksia.

Viherkattorakenteista ei ole vastaavanlaista kokemusta Suomessa kuin monista muista nykyään käytössä olevista yläpohjarakennetyypeistä. Pihakansia, joiden päällä on viherosa, on kuitenkin rakennettu paljon. Loivissa viherkatoissa suositeltava käytettävä rakennetyyppi on lämmöneristettyjen pihakansien tapaan käännetty rakenne, jossa vedeneristys on lämmöneristuksen alla. Jyrkissä katoissa viherosa on vesikatteen ulkopuolelle sijoitettava rakennekerros, joka pitää huomioida katon muiden rakenteiden, varsinkin vedeneristyskerroksen, suunnittelussa ja toteutuksessa.

Työssä käsiteltiin viherkattojen toimintaa hyvin monelta kannalta. Tarkempaa tietoa varten niiden toiminnasta ja katon viherosan vaikutuksista kattorakenteeseen tutkimuksessa pitäisi keskittyä johonkin tiettyyn alueeseen, jota tarkastellaan yksityiskohtaisemmin.

## LÄHTEET

Aaltonen, J., Hohti, H., Kirsti, J., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen Ympäristö 31 / 2008. 80 p.

Aatsalo, J. 2015. Viherkattobuumi on Suomessa vielä kehitysvaiheessa. Rakennuslehti 49, 5, pp. 12-12.

Air quality in Europe - 2013 report. 2013. Kööpenhamina, European Environment Agency. 112 p.

Anttila, P., Alaviippola, B. & Salmi, T. 2003. Ilmanlaatu Suomessa - mitatut pitoisuudet suhteessa ohje- ja raja-arvoihin sekä vertailuja eurooppalaisiin pitoisuustasoihin. Helsinki, Ilmatieteen laitos. Ilmanlaadun julkaisuja 33. 105 p.

Banting, D., Doshi, H., Li, J., Missios, P., Au, A., Currie, B.A. & Verrati, M. Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. Ontario Centres of Excellence-Earth and Environmental Technologies. Toronto. 31.10.2005 [viitattu 18.11.2013]. Saatavissa: [http://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/banting\\_et\\_al.pdf](http://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/banting_et_al.pdf).

Bass, B. & Baskaran, B. 2003. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. Ottawa, Canada, National Research Council. NRCC-46737. 111 p.

Bechtel, C., Dessent, T.R., Guthrie, D., Therrien, R.W.J. & Kirby, J.R. The NRCA Green Roof Systems Manual [verkkodokumentti]. National Roofing Contractors Association. Rosemont. 2007 [viitattu 9.12.2013]. Saatavissa: [http://www.icbuildingsolutions.com/uploads/1/4/6/3/14638878/nrca\\_roof\\_manual.pdf](http://www.icbuildingsolutions.com/uploads/1/4/6/3/14638878/nrca_roof_manual.pdf).

Bengtsson, L., Grahn, L. & Olsson, J. 2005. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. Nordic Hydrology 36, 3, pp. 259-268.

Björk, F. 2004. Green roofs effect on durability of roof membranes. Malmö, International Green Roof Institute. Examination Project, Environmental Science 006. 24 p.

Britschgi, R., Eitsi, E., Hagerlund, T., Hakoniemi, R., Halminen, J., Helenius, T., Hyöty, P., Jormola, J., Koponen, E., Kuusisto, E., Kärppä, P., Laakkonen, P., Nevalainen, A., Nuotio, A., Nysten, T., Ojala, R., Raudasmaa, P., Reinikainen, P., Rekonen, I., Rissanen, P., Sillanpää, N., Tiainen, A. & Varpanen, L. Hulevesiopas [verkkodokumentti]. Suomen Kuntaliitto. Helsinki. 2012 [viitattu 5.12.2013]. Saatavissa: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fshop.kunnat.net%2Fdownload.php%3Ffilename%3Duploads%2Fhulevesiopas-2012.pdf&ei=IG-IUtWMC4PpywOHvoG4Dw&usg=AFQjCNENSdGf3X4MS6y5pNhVCVpBieiclw&bvm=bv.57752919,d.bGQ>.



C2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 1998. Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 16 p.

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. Lämmöneristys, ohjeet 2012, luonnos. Helsinki, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 24 p.

Canadian Climate Normals 1981-2010 Station Data [WWW]. Environment Canada. Fredericton, New Brunswick, Kanada. 13.2.2014 [viitattu 3.3.2014]. Saatavissa: [http://climate.weather.gc.ca/climate\\_normals/results\\_1981\\_2010\\_e.html?stnID=5051&lang=e&dCode=0&StationName=TORONTO&SearchType=Contains&province=ALL&provBut=&month1=0&month2=12](http://climate.weather.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_e.html?stnID=5051&lang=e&dCode=0&StationName=TORONTO&SearchType=Contains&province=ALL&provBut=&month1=0&month2=12).

D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, Määräykset ja ohjeet 2007. Helsinki, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 64 p.

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 35p.

DeNardo, J., Jarrett, A., Manbeck, H., Beattie, D. & Berghage, R. . Green Roofs: A Stormwater BMP. 2002. Pennsylvania, USA, Pennsylvania State University. Julkaisematon tutkimus. 9 p.

Drebs, A.J. 2011. Helsingin lämpösaareke ajallisena ja paikallisena ilmiönä. Pro gradu -tutkielma. Helsinki. Helsingin yliopisto, Geotieteen ja maantieteen laitos. 79 p.

E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011. Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2011. Helsinki, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 43 p.

Elementtisuunnittelu.fi / Seinäliitokset [viitattu 21.3.2015]. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset/seinaliitokset>.

Emilsson, T. 2006. Extensive vegetated roofs in Sweden. Doctoral thesis. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences. 34 p.

Foamglas kompaktikattojärjestelmä, Vihreä katto betonilaatalla. 2010. Stenkullen, Foamglas Nordic Ab. 2 p.

Foamglas kompaktikattojärjestelmä, Vihreä katto profiilipellillä. 2010. Stenkullen, Foamglas Nordic Ab. 2 p.

Foamglas kompaktikattojärjestelmä, Vihreä katto puupalkistolla. 2010. Stenkullen, Foamglas Nordic Ab. 2 p.

Fountain, H. Green Roof Collapses in Illinois. The New York Times. 18.2.2011 [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa: [http://green.blogs.nytimes.com/2011/02/18/green-roof-collapses-in-illinois/?\\_php=true&\\_type=blogs&\\_r=1](http://green.blogs.nytimes.com/2011/02/18/green-roof-collapses-in-illinois/?_php=true&_type=blogs&_r=1).

Getter, L.G. & Rowe, B. 2008. Media depth influences Sedum green roof establishment. *Urban Ecosyst* 11, pp. 361-372.

Graceson, A., Hare, M., Monaghan, J. & Hall, N. 2013. The water retention capabilities of growing media for green roofs. *Ecological Engineering* 61, pp. 238-334.

Grant, G., Engleback, L., Nicholson, B., Gedge, D., Frith, M. & Harvey, P. 2003. Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. Peterborough, English Nature Research Reports. 498. 61 p.

The GRO Green Roof Code. 2011. Sheffield, Groundwork Sheffield. 26 p.

Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites. 2002. Bonn, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. 97 p.

Ilmatieteenlaitos, sade. Ilmatieteen laitos. Helsinki. [viitattu 30.1.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/sade>.

Johnston, J. & Newton, J. 2004. Building Green, A guide to using plants on roofs, walls and pavements. London, Greater London Authority. 127 p.

Junttila, H. 2015. Pientalojen puurakenteisten tuulettuvien yläpohjien lämpö- ja kosteustekninen toiminta. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. 105 p.

Kaukoranta, J., Karlsson, P. & Ruuhela, R. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010. Helsinki, Ilmatieteen laitos. Raportteja 2012: 1. 96 p.

Köhler, M. & Poll, P.H. 2010. Long-term performance of selected old Berlin greenroofs in comparison to younger extensive greenroofs in Berlin. *Ecological Engineering* 36, 6, pp. 722-729.

Lahdensivu, J., Suonketo, J., Vinha, J., Lindberg, R., Manelius, E., Kuhno, V., Saastamoinen, K., Salminen, K. & Lähdesmäki, K. 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 160. 121 p.

Laurila, S., Jyrkänkallio-Mikko, J., Mesimäki, M., Kallio, P., Kuoppamäki, K., Nieminen, H. & Lehvävirta, S. 2014. Normeja viherkatoille - perusteita kehittämiseen. Helsinki, Helsingin yliopisto, koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenia. Kohti kestävää kaupunkia - optimaalinen viehrkatto suomalaisiin olosuhteisiin; esiselvityshanke normistojen kehittämiseksi 1-66 p.

Leca-kevytsorakatot, suunnitteluohjeet. 2010. Helsinki, Saint-Gobain Weber Oy Ab. 26 p.

Lehvävirta, S., Mesimäki, M., Gabrych, M., Kyrö, K., Kuoppamäki, K., Hauru, K., Niemikainen, J., Nurmi, V., Nieminen, H., Ihalainen, O. & Lehtovuori, L. Viides ulottuvuus - viherkatot osaksi kaupunkia. Luonnontieteellinen keskusmuseo Luomus. Hel-

sinki. 20.2.2014 [viitattu 20.2.2014]. Saatavissa: <http://www.luomus.fi/fi/viides-ulottuvuus-viherkatot-osaksi-kaupunkia>.

Liu, K. & Baskaran, B. 2003. Green Roof Infrastructure-Technology Demonstration, Monitoring and Market Expansion Project. Ottawa, National Research Council Canada, Institute of Research in Construction. 224 p.

Liu, K. & Baskaran, B. 2005. Thermal performance of extensive green roofs in cold climates. World sustainable building conference, Tokio, Japani. Ottawa, National Research Council, Institute for Research in Construction. pp. 1-10.

Liu, K. & Baskaran, B. 2003. Thermal performance of green roofs through field evaluation. Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show, Chigago, Illinois, USA, May 29-30, 2003. Ottawa, National Research Council, Institute for Research in Construction. pp. 1-10.

Magill, J. 2011. A history and definition of green roof technology with recommendations for future research. Master's Thesis. Carbondale. Southern Illinois University Carbondale. 68 p.

Maxima-marketin romahtaminen johtui karkeista laskuvirheistä. Helsingin Sanomat. 29.11.2013 [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa: <http://www.hs.fi/ulkomaat/a1385708264862>.

Mingjie, Z. & Srebric, J. 2012. Assessment of green roof performance for sustainable buildings under winter weather conditions. J. Cent. South Univ. 19, pp. 639-644.

MRL 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki.

Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A. & Mihalakakou, G. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings 33, pp. 719-729.

Nieminen, J. & Kouhia, I. Hyvin eristetyn loivan katon toimivuus ja vaatimukset [verkkodokumentti]. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo. 1999 [viitattu 11.12.2013]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1979.pdf>.

Nurmi, V., Votsis, A., Perrels, A. & Lehvävirta, S. 2013. Cost-benefit analysis of green roofs in urban areas: case study in Helsinki. Helsinki, Ilmatieteen laitos. Reports 2013:2. 58 p.

Ontelolaatat. Rakennusteollisuus RT. Helsinki. 2010 [viitattu 5.3.2014]. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>.

Peck, S.W., Callaghan, C., Kuhn, M.E. & Bass, B. Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada [verkkodokumentti]. Canada Mortgage and Housing Corporation. Toronto. 1999 [viitattu 9.12.2013]. Saatavissa: <http://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/Greenbacks.pdf>.

Pentti, M. . RTEK-3530 Eristysrakenteet, Luentomoniste, osa 2, Yläpohjat. 2010. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Luentomoniste. 88 p.

Rakentajain kalenteri. 2000. Helsinki, Rakennustieto Oy. 1006 p.

Rakentamisen kosteudenhallinta [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa:

[http://www.kosteudenhallinta.fi/attachments/article/212/Kosteudenhallinta\\_RAKENTEET\\_30092015.pdf](http://www.kosteudenhallinta.fi/attachments/article/212/Kosteudenhallinta_RAKENTEET_30092015.pdf).

RIL 107. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 219 p.

RIL 126. 2009. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus. Helsinki, Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 99 p.

Rinne, H. Kattojen historia kivikaudelta peltikattoon [WWW]. Mediatehdas Dakar Oy. Kotka. [viitattu 10.12.2013]. Saatavissa:

<http://www.perinnemestari.fi/index.php?id=65&id2=102&id3=172>.

RT 36-10689. 1999. Mineraalivillaeristeet. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 6 p.

RT 36-11102. 2012. XPS-eristeet. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 4 p.

RT 36-11113. 2013. EPS-eristeet. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 4 p.

RT 38539. 2014. Foamglas-eristeet. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 2 p.

RT 83-11010. 2010. Yläpohjarakenteita. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 25 p.

RT 85-10709. 1999. Kansi- ja kattopuutarhat sekä viherkatot. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 19 p.

RT 85-10729. 2000. Liikennöidyn tason vedeneristykset. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 10 p.

RT 85-11163. 2014. Vesikaton kaltevuudet, katteen valinta. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 3 p.

RT 85-11203. 2016. Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 12 p.

RT 85-11204. 2016. Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 16 p.

RT 85-11205. 2016. Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 20 p.

RT 852.3. 1966. Kate, turve-. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 2 p.

RT 89-10998. 2010. Kasvillisuusalueiden maatyöt. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 16 p.

RTK-36951. 2005. Leca-sora. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 4 p.

RunkoRYL. 2010. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, Talonrakennuksen runkotyöt. Helsinki, Rakennustietosäätiö. 352 p.

Saasteiden terveysvaikutukset [WWW]. Ilmatieteen laitos. Helsinki. [viitattu 7.1.2014]. Saatavissa: [http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/terveys/huono\\_ilmanlaatu.php](http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/terveys/huono_ilmanlaatu.php).

Sailor, D.J., Hutchinson, D. & Bokovoy, L. 2008. Thermal property measurements for ecoroof soils common in the western U.S. *Energy and Buildings* 40, pp. 1246-1261.

SFS-EN 1991-1-1 2002. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 73 p.

SFS-EN 1991-1-3 2004. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 81 p.

SFS-EN 1991-1-4 2005. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4: tuulikuormat. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 255 p.

Snodgrass, E.C. & McIntyre, L. 2010. The green roof manual : a professional guide to design, installation, and maintenance. London, Timber Press, Inc. 295 p.

SPU Kattosuunnitteluohje. 2012. Tampere, SPU Oy. 49 p.

Standardin SFS-EN 1991-1-1 kansallinen liite 2007. Ympäristöministeriön asetus Eurocode-standardien soveltamisesta talonrakentamisessa. Helsinki, Ympäristöministeriö. 5 p.

Standardin SFS-EN 1991-1-3 kansallinen liite 2007. Ympäristöministeriön asetus Eurocode -standardien soveltamisesta talonrakentamisessa. Helsinki, Ympäristöministeriö. 7 p.

Suomen ilmassa vain vähän saasteita [verkkodokumentti]. 12.11.2013 [viitattu 7.1.2013]. Saatavissa: <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmanynt/tiedote/pdf/121113ilmanlaatu.pdf>.

Teemusk, A. & Mander, Ü. 2009. Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. *Building and Environment* 44, pp. 643-650.

Teemusk, A. & Mander, Ü. 2007. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof; The effects of short-term events. *Ecological Engineering* 30, 4, pp. 271-277.

Toimivat katot 2013. 2013. Helsinki, Kattoliitto ry. 118 p.

Tompuri, V. 2013. Pian katot ja julkisivutkin vihertävät. *Rakennuslehti* 47, 39, pp. 23-23.

Valtioneuvosto Valtioneuvoston periaatepäätös Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävän käytön strategiasta vuosiksi 2012-2020, luonnon puolesta - ihmisen hyväksi. Valtioneuvosto. Helsinki. 20.12.2013 [viitattu 5.12.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=140692&lan=fi>.

Vehviläinen, I., Peska, A., Heljo, J., Vihola, J., Jääskeläinen, S., Kalenoja, H., Lahti, P., Mäkelä, K. & Ristimäki, M. 2010. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. Helsinki, Sitra. Sitran selvityksiä 39. 125 p.

Viherkatot [WWW]. SKYoffice. Tampere. [viitattu 13.3.2014]. Saatavissa: <http://www.skyoffice.fi/mokkiplus/?p=623>.

Viherkattojen suunnitteluohjeet loiville katoille [verkkodokumentti]. Icopal Oy. Espoo. 10.11.2010 [viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: [http://www.icopal.fi/upload/icopal.fi/asennusohjeet/viherkatto\\_suunnitteluohjeet\\_10112010.pdf](http://www.icopal.fi/upload/icopal.fi/asennusohjeet/viherkatto_suunnitteluohjeet_10112010.pdf).

Vihreistä vihrein korttelin perspektiivikuva lounaasta. 2013. Helsinki, Talli oy. Arkkitehdin luonnoskuva.

Villarreal, E.L. & Bengtsson, L. 2005. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering* 25, pp. 1-7.

Vinha, J. 2012. Matalaenergiarakentamisen haasteet rakenteiden toimintaan. Energia-osaaminen rakennustyömaalla -työpaja, 24.5. Tampere, Motiva. pp. 48.

Vinha J. Diplomityön tarkastus. 2016. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähköpostiviesti. 1 p.

Vinha, J. RTEK-3511 Rakennusfysiikka, Luentomoniste, Osa 1. 2011. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Luentomoniste. 521 p.

Yang, J., Qian, Y. & Gong, P. 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42, pp. 7266-7273.

Zirkelbach, D., Schafaczek, B. & Kunzel, H.M. 2010. Long-term hygrothermal performance of green roofs. Buildings XI, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI 2010. 5.-9.12.2010, Clearwater Beach, Florida. Atlanta/Ga, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers -ASHRAE-. pp. 1-7.